

**KILPAILUSUORITUSTEN ENNUSTETTAVUUS TESTITULOSTEN
PERUSTEELLA MAASTOHIIHTOMAAJOUKKUEELLA KAUSINA 2015 - 2016 JA
2016 - 2017**

Enni Heikura

Liikuntafysiologia

Pro Gradu -tutkielma

Kevät 2017

Liikuntabiologia

Jyväskylän yliopisto

Tutkimusohjaaja: Heikki

Kyröläinen ja Esa Hynynen

Seminaariohjaaja: Heikki

Kainulainen

TIIVISTELMÄ

Enni Heikura (2017). Kilpailusuoritusten ennustettavuus testitulosten perusteella maastohiihtomaajoukkueella kausina 2015-2016 ja 2016-2017. Liikuntabiologia, Jyväskylän yliopisto, Liikuntafysiologian pro gradu -tutkielma, 61s.

Johdanto. Maastohiihto on vaativa ja monipuolinen kestävyyslaji, jossa tarvitaan sekä energiantuottoon liittyviä aerobisia ja anaerobisia ominaisuuksia että nopeus- ja voimaominaisuuksia. Huippuhihtäjille harjoittelukaudella suoritettujen eri ominaisuuksien mittaavat testit ovat merkittäviä harjoittelun ja kunnan seurannan kannalta. Testitulosten tulisi kertoa kunnan muutoksista eri osa-alueilla sekä näyttää suuntaa tulevan kauden kilpailumenestykseen. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää maajoukkuehihtäjien testitulosten yhteyksiä kansainvälisen hiihtoliiton FIS -pisteisiin.

Menetelmät. Tutkimukseen osallistui Suomen maastohiihtomaajoukkueen kuusi naisurheilijaa (ikä $29,9 \pm 4,2$ vuotta, pituus $169,0 \pm 4,9$ cm, paino $59,8 \pm 3,4$ kg) ja 12 miesurheilijaa (ikä $28,1 \pm 3,5$ vuotta, pituus $182,3 \pm 5,5$ cm, paino $79,0 \pm 7,1$ kg). Hiihtäjät kävivät kausien 2015 - 2016 ja 2016 - 2017 aikana kolmesti testeissä Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskuksessa harjoittelukauden aikana (kesä-, elo-, syys- ja lokakuussa). Testit kestivät kaksi päivää ja ensimmäisenä päivänä testattiin voima- ja nopeusominaisuuksia (kyykkyteho 60 % ja 100 %, penkkipunnerruksen maksimi, penkkipunnerruksen teho, kevennyshypyn nousukorkeus sekä reaktiivisuus hyppelytestissä) sekä anaerobista kapasiteettia. Toisena päivänä urheilijat suorittivat suoran VO_{2max} -testin. Kilpailusuorituksia arvioitiin käyttäen apuna kansainvälisen hiihtoliiton FIS -pisteitä kauden viimeiseltä listaukselta erikseen distanssi- ja sprinttimatkoilta.

Tulokset. Suoran testin maksiminopeus oli negatiivisesti yhteydessä FIS -distanssipisteisiin naisilla toisella kaudella ($r = -0,878$, $p = 0,050$) ja miehillä ensimmäisellä ($r = -0,870$, $p = 0,042$) ja toisella kaudella ($r = -0,752$, $p = 0,005$). Lisäksi miehillä distanssipisteet korreloivat negatiivisesti suoran testin aerobisen kynnyksen nopeuteen ensimmäisellä ($r = -0,637$, $p = 0,026$) ja toisella ($r = -0,792$, $p = 0,002$) kaudella sekä anaerobisen kynnyksen nopeuteen toisella kaudella ($r = -0,600$, $p = 0,039$). Naisilla suoran testin maksiminopeuden parantuminen kausien välillä näkyi myös distanssipisteiden parantumisena ($r = -0,934$, $p = 0,020$). Naisilla FIS-sprinttipisteet olivat toisella kaudella negatiivisesti yhteydessä suoran testin maksiminopeuteen ($r = -0,916$, $p = 0,029$), anaerobisen kynnyksen nopeuteen ($r = -0,856$, $p = 0,030$) ja $VO_{2max:n}$ ($r = -0,891$, $p = 0,042$).

Johtopäätökset. Tämän tutkimuksen perusteella harjoittelukaudella suoritettujen suoran VO_{2max} -testin maksiminopeus ennustaa luotettavasti tulevan kauden kilpailumenestystä maastohiihdon normaalimatkoilla niin miehillä kuin naisillakin. Myös taloudellisuus on normaalimatkoilla suorituskyvyn kannalta merkittävä tekijä. Tässä tutkimuksessa FIS -sprinttipisteiden ja testitulosten välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä, mutta sprinttikilpailuissa näyttäisivät pärjäävän parhaimman anaerobisen kapasiteetin omaavat hiihtäjät. Kahden kauden aikana hiihtäjillä ei havaittu merkittävää kehitystä eri ominaisuuksissa, lukuun ottamatta pientä parannusta anaerobisessa kapasiteetissa ja voimaominaisuuksissa.

Avainsanat: maastohiihto, kilpailusuoritukset, suorituskyykytestit, huippu-urheilijat

KÄYTETYT LYHENTEET

ADP	Adenosiinidifosfaatti (Adenosine diphosphate)
AerK	Aerobinen kynnyks
AerKV	Aerobisen kynnyksen nopeus
AnK	Anaerobinen kynnyks
AnKV	Anaerobisen kynnyksen nopeus
AnPmax	Anaerobinen suoritusteho (Maximal anaerobic ski striding power)
ATP	Adenosiinitrifosfaatti (Adenosine triphosphate)
BMI	Painoindeksi (Body Mass Index)
FIS	Kansainvälinen hiihtoliitto (International Ski Federation)
FK	Fosfokreatiini (Phosphocreatine)
Hb	Hemoglobiini (Hemoglobin mass)
Hkr	Hematokriitti (Hematocrit)
HR	Syke (Heart rate)
HR _{max}	Maksimisyke (Maximal heart rate)
La	Veren laktaattipitoisuus (Blood lactate)
La _{max}	Veren maksimilaktaattipitoisuus (Maximal blood lactate)
MAST	Maksimaalinen anaerobinen hiihtotesti (Maximal Anaerobic Skiing Test)
RE	Juoksun taloudellisuus (Running economy)
V _{max}	Maksiminopeus (Maximal velocity)
VE	Ventilaatio (Ventilation)
VE _{max}	Maksimiventilaatio (Maximal ventilation)
VO ₂	Hapenkulutus (Oxygen uptake)
VO _{2max}	Maksimaalinen hapenottookyky (Maximal oxygen uptake)
VO _{2peak}	Maksimaalisen hapenottokyvyn huippuarvo (Peak oxygen uptake)

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

1	JOHDANTO	1
2	MAASTOHIIHDOSVAADITTAVAT FYYSISET OMINAISUUDET	4
2.1	Maastohiihdon fysiologia	5
2.1.1	Maksimaalinen hapenottokyky	6
2.1.2	Hengitys- ja verenkiertoelimistön toiminta	9
2.1.3	Energiantuottojärjestelmät	10
2.1.4	Hiihdon taloudellisuus	15
2.2	Hermosto-lihasjärjestelmän vaatimukset.....	15
3	HUIPPUHIHTÄJIEN OMINAISUUDET, HARJOITTELU JA TESTAAMINEN	18
3.1	Huippuhihtäjän ominaispiirteet	18
3.2	Harjoittelu kansainvälisellä huipulla	19
3.3	Fyysiset testit ja niiden yhteys suorituskäyttöön	21
4	TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA HYPOTEESEIT	25
5	MENETELMÄT	27
5.1	Tutkittavat.....	27
5.2	Tutkimusasetelma	27
5.3	Aineiston keräys ja analysointi	28
5.4	Tilastolliset menetelmät.....	30
6	TULOKSET.....	31
6.1	Kausien 2015-2016 ja 2016-2017 väliset muutokset	31
6.2	FIS -pisteiden yhteys testituloksiin.....	35
6.3	Testitulosten väliset yhteydet.....	37
6.4	Muutosprosentit ja korrelaatio FIS -pisteisiin	39
6.5	Testitulosten väliset muutoskorrelaatiot	42

6.6 Kauden 2016-2017 testitulosten korrelaatio muutosprosentteihin	44
6.7 Maksiminopeuden seuranta kahden kauden aikana.....	46
7 POHDINTA	48
7.1 Kausien 2015-2016 ja 2016-2017 väliset muutokset	48
7.2 FIS -pisteiden yhteys testituloksiin.....	50
7.3 Testitulosten väliset yhteydet.....	52
7.4 Testitulosten muutosten korrelaatiot FIS -pisteiden muutoksiin	53
7.5 Testitulosten väliset muutoskorrelaatiot	54
7.6 Kauden 2016-2017 testitulosten korrelaatio muutosprosentteihin	54
7.7 Maksiminopeuden seuranta kahden kauden aikana.....	55
7.8 Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet.....	56
7.9 Johtopäätökset ja käytännön sovellutukset.....	57
8 LÄHTEET	58

1 JOHDANTO

Maastohiihto, yksi vaativimmista kestävyysurheilulajeista, on ollut olympialajina heti ensimmäisistä vuonna 1924 Ranskan Chamonixissa järjestetyistä talviolympialaisista lähtien. Laji on ajan myötä kokenut suuria muutoksia harjoittelun, välineiden ja rataprofiilien kehittyessä. Ensimmäinen iso muutos lajiin tuli vapaan hiihtotekniikan myötä 1980 -luvulla, jota seurasi erilaisten kilpailumuotojen – väliaikalähdön, yhteislähdön, takaa-ajon ja sprintin – mukaantulo. Muutoksien myötä kilpailuvauhdit ovat nousseet jopa 70 km/h asti. Kilpailumatkat vaihtelevat nykyään maailmanmestaruuskilpailuissa ja olympialaisissa 1,2 km ja 50 km välillä ja ajallisesti noin 2,5 minuutin ja yli 2 tunnin välillä. Keskimäärin kilpailuradat sisältävät noin 1/3 ylämäkeä, 1/3 alamäkeä ja 1/3 tasamaata, mutta ajallisesti ylämäkien hiihtämiseen kuluu aikaa eniten, noin 50 % kokonaisajasta. (Sandbakk & Holmberg 2014.)

Maastohiihdossa vaaditaan ylä -ja alavartalon lihasten samanaikaista työskentelyä, aerobista ja anaerobista tehoa, voimaa, kestävyyttä, nopeutta sekä myös teknistä ja taktista osaamista. Lisäksi haastetta tuovat maastoprofiilien ja sääolosuhteiden vaihtelut ja kilpailut korkeassa ilmanalassa. (Sandbakk & Holmberg 2014.) Pidemmällä matkoilla tärkeimpiä ominaisuuksia ovat maksimaalinen hapenottokyky ja taloudellisuus (Mahood ym. 2001), sprinttimatkoilla taas anaerobinen kapasiteetti (Losnegard ym. 2012) ja nopeusominaisuudet (Andersson ym. 2009). Sprinttihiihdon ja yhteislähtökilpailuiden myötä lajissa vaaditaan entistä enemmän nopeus- ja voimaominaisuuksia (Losnegard ym. 2013) sekä taktista osaamista (Sandbakk & Holmberg 2014). Kuitenkaan voimaominaisuuksien kehittäminen ei saisi haitata aerobista harjoittelua, joka edelleen on merkittävä tekijä suorituksessa (Østerås ym. 2016). Normaalmatkoilla aerobisen energiantuoton osuus on noin 85 - 95 % ja sprinteissä noin 70 - 75 %. Anaerobista energiantuottoa vaaditaan erityisesti ylämäissä ja kiritilanteissa ja sen osuus normaalimatkoilla on noin 10 - 20 % ja sprinteissä jopa 40 %. (Sandbakk & Holmberg 2014.)

Huippumaastohiihtäjien maksimaalinen hapenottokyky (VO_{2max}) on tutkimusten mukaan mieshiihtäjillä noin 6 l/min tai 80 - 90 ml/kg/min. Naishiihtäjien hapenotto on noin 10 % miehiä alhaisempaa. Maksimaalisen hapenoton merkitys korostuu ylämäkien ja vuorohiihdon tekniikoissa. (Sandbakk & Holmberg 2014.) VO_{2max} on huippuhiihtäjillä jo sen verran korkea, ettei harjoittelu enää kehitä sitä kuin hieman (Losnegard ym. 2013). Ingjer ym. (1991) mukaan VO_{2max} vaihtelee kauden aikana ja vaihtelut ovat suurimpia parhaimmilla hiihtäjillä. Suurimmat hapenoton arvot mitataan yleensä kilpailukauden aikana (Ingjer ym. 1991). Vuosien

mittaan hiihtäjien aerobinen kapasiteetti on pysynyt suhteellisen muuttumattomana, mutta sen sijaan ylävartalon lihaksiston voima ja kestävyys ovat parantuneet merkittävästi (Sandbakk & Holmberg 2014).

Losnegard ym. (2013) tutkimuksessa norjalaisten kansainvälisen tason mieshiihtäjien harjoitusmäärät olivat suurimmillaan kesäkuusta elokuuhun, josta ne laskivat 14 % syyskuun ja marraskuun välillä ja 24 % joulukuun ja maaliskuun välillä. Kovatehoinen harjoittelu (>88 %HR_{max}) lisääntyi lineaarisesti koko kauden mittaan ja oli yhteydessä harjoitusmäärien laskuun. Rullilla ja lumella hiihdon osuus oli koko harjoitusmäärästä 50 - 60 % harjoituskaudella (maaliskuu-lokakuu) ja 80 % kilpailukaudella (joulukuu-maaliskuu). Harjoittelusta 8 - 10 % oli voima- ja nopeusharjoittelua koko kauden aikana. (Losnegard ym. 2013.) Maastohiihtäjät harjoittelevat yleisesti niin sanotun polarisoidun mallin mukaisesti, joka sisältää harjoittelua sekä matalalla että korkealla intensiteeteillä. Pääosassa ovat harjoitukset matalalla intensiteetillä, kun taas kovatehoista harjoittelua on huomattavasti vähemmän. Viimeisen kolmen vuosikymmenen aikana rullahiihtoharjoittelu sekä ylävartalon voiman ja kestävyden harjoittelu ovat lisääntyneet (Sandbakk & Holmberg 2014.)

Erilaisten fysiologisten ominaisuuksien seuraaminen kauden aikana on tärkeää, jotta harjoittelua pystytään ohjaamaan oikeaan suuntaan (Losnegard ym. 2013). Hiihdossa sekä aerobista että anaerobista kapasiteettia tulisi testata, koska molempia energiantuottotapoja käytetään suorituksen aikana (Mahood ym. 2001). Harjoituskaudella tehdyt laboratoriotestit rullilla hiihtäen ennustavat luotettavasti tulevan kauden kilpailumenestystä (Naef ym. 2009) ja kertovat hiihtosuorituskyvystä juosten tehtyjä testejä paremmin, koska rullahiihtäessä myös ylävartalo työskentelee lajinomaisesti (Mahood ym. 2001; Wisløff & Helgerud 1998). Tasatyöntäen tehty testi osoittautui luisteluhiihtäen tehtyä testiä paremmaksi suorituskyvyn mittariksi FIS -pisteitä apuna käyttäen Fabre ym. (2010) tutkimuksessa ja siten ennusti paremmin menestystä kilpailuissa, koska ylävartalon lihasten kapasiteetti korostui enemmän.

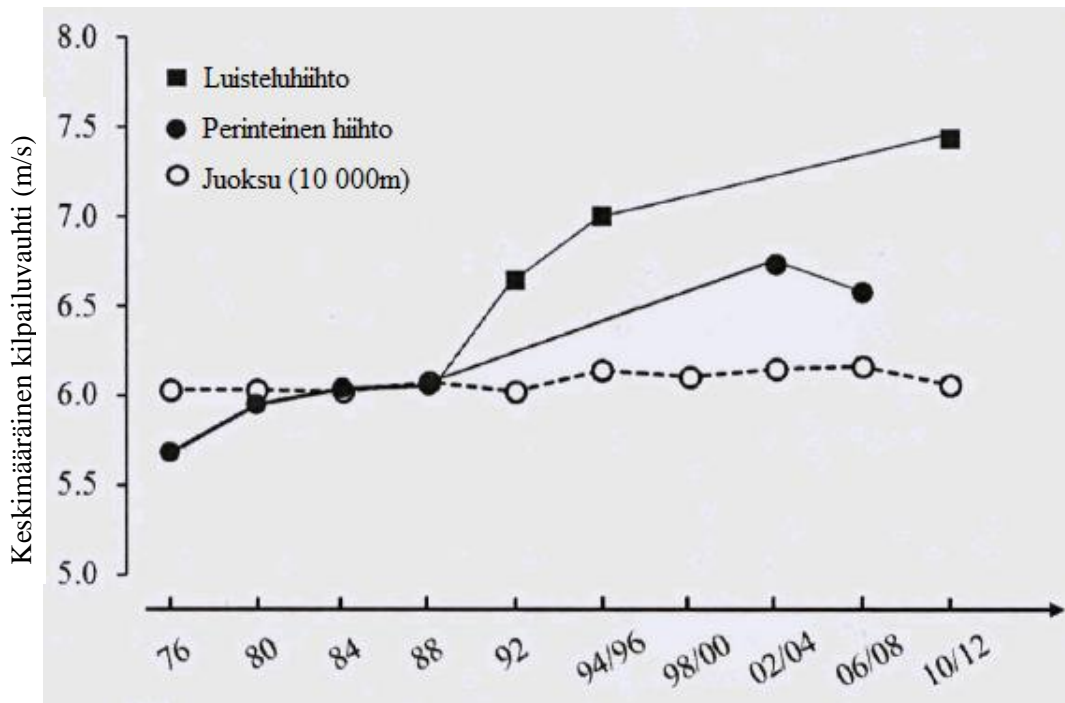
Fysiologisista muuttujista menestyksen kanssa korreloivat erityisesti VO_{2max}, suorituksen taloudellisuus, kyky työskennellä pitkään anaerobisella kynnyksellä sekä ylävartalon lihasten hapenoton huippuarvo (Mahood ym. 2001). Norjalaisilla kansainvälisen tason mieshiihtäjillä testeissä mitattu VO_{2max} huippuarvo korreloi FIS -pisteiden määrään ja ennusti kilpailumenestystä. Maksimaalisen hapenoton seuraaminen kauden aikana tuo tietoa harjoittelun onnistumisesta ja urheilijan kehittymisestä, joten se on merkittävässä osassa hiihtäjien testauksessa. (Losnegard ym. 2013.)

Laboratoriotestien ohella myös noin 1 - 2 kilometrin pituinen ylämäkeen suoritettu lajinomainen kenttätesti toimii luotettavana suorituskyvyn mittarina (Mahood ym. 2001; Carlsson ym. 2014). Ylävartalon lihaksiston maksimivoima ja lihasmassan määrä olivat yhteydessä Østerås ym. (2016) tutkimuksessa naishiihtäjien tasatyöntösuoritukseen ja yhdessä VO_{2max} :in kanssa koko hiihtosuoritukseen, koska pitkäkestoinen suoritus vaatii hyvää aerobista kapasiteettia

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää maajoukkuehiihtäjien testitulosten yhteyksiä kansainvälisen hiihtoliiton FIS -pisteisiin kausilta 2015 - 2016 ja 2016 - 2017. FIS -pisteet otetaan erikseen normaali - ja sprinttimatkoilta. Lisäksi tarkoituksena on selvittää eri testitulosten välisiä yhteyksiä.

2 MAASTOHIIHDOSVAADITAVAT FYYSISET OMINAISUUDET

Maastohiihdossa fyysisten ominaisuuksien vaatimus on muuttunut vuosien mittaan lajin muutoksien myötä. Alla näkyvästä kuvasta 1 voidaan havaita kilpailuvauhtien kasvaneen hiihdossa merkittävästi enemmän juoksuun verrattuna. Vauhtien kasvun taustalla on hiihtäjien fyysisten ominaisuuksien muutoksien lisäksi muun muassa välineiden ja kilpailuratojen kehittyminen. (Sandbakk & Holmberg 2014.)



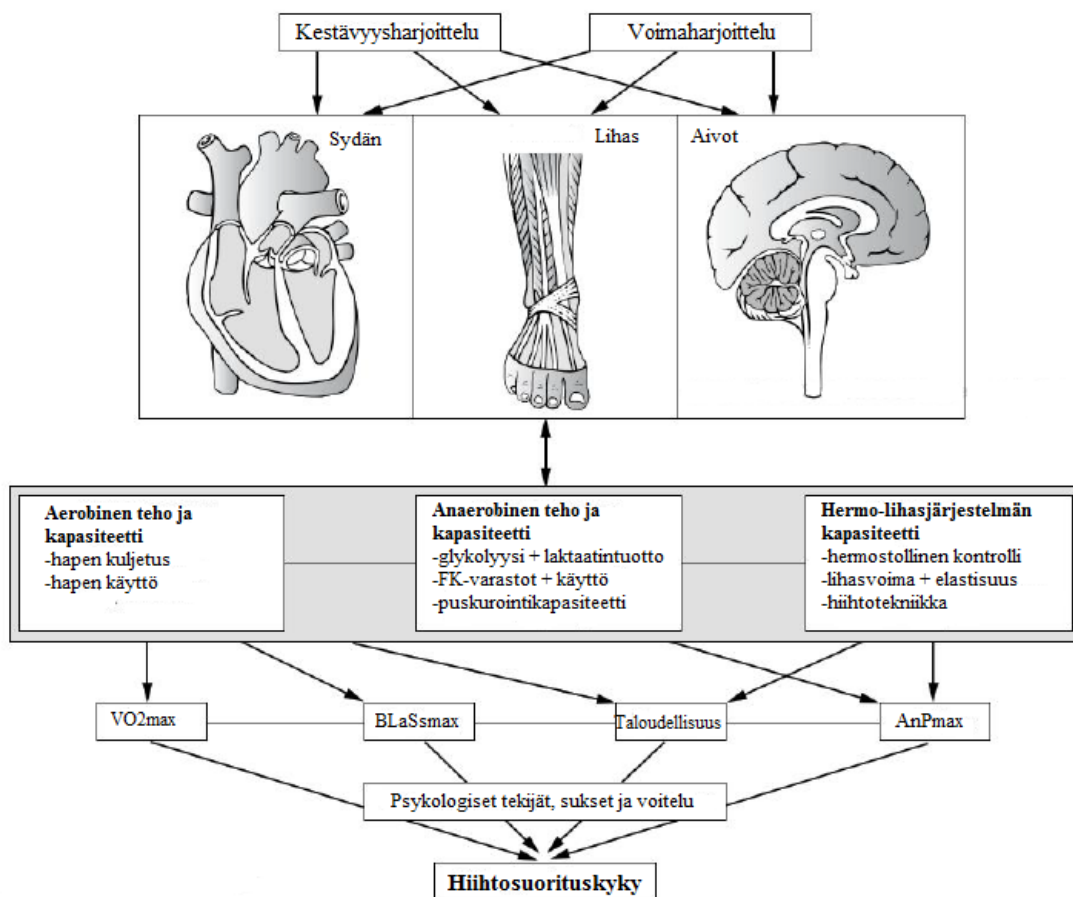
KUVA 1. 15 kilometrin luisteluhiihdon ja perinteisen hiihdon sekä 10 000 metrin juoksun miespuolisen olympiavoittajan vauhdin kehitys vuosien 1976 - 2012 olympialaisissa. Vuoden 1998 olympialaiset jätettiin pois kuvaajasta huonojen lumiolosuhteiden takia. (mukaeltu Sandbakk & Holmberg 2014.)

Perinteisen hiihdon tekniikoita ovat tasatyöntö, yksipotkuinen tasatyöntö, haarakäynti sekä vuorohiihto. Luisteluhiihto luotiin jotta vauhteja saataisiin suuremmiksi. Se hyväksyttiin kansainvälisen hiihtoliiton (International Ski Federation, FIS) puolesta kilpailulajiksi vuonna 1986 ja sisältää viisi alatekniikkaa, jotka ovat kuokka, mogren, wassberg, vuoroluistelu ja sauvoitta luistelu. Sprinttihiihto tuli mukaan kilpailuihin 1990 -luvulla. Nykyisin perinteistä ja luisteluhiihtoa on myös yhdistetty samaan kilpailumuotoon, jota kutsutaan skiathloniksi. Perinteisen hiihtotavan kilpailuissa tasatyöntö suoritustekniikkana on yleistynyt viime vuosina. (Carlsson 2015.)

Yhteislähtökilpailut ovat tuoneet mukaan taktisen osaamisen vaatimuksen. Rataprofiilit ja lumiolosuhteet vaihtelevat ja joskus peesaus saattaa olla hyödyllistä. Hiihtäjien tulee etsiä sopivin asema porukassa, jolloin he pystyvät hyödyntämään omia vahvuuksiaan. (Sandbakk & Holmberg 2014). Erilaisia tekniikoita vaihdellaan usein maaston muotojen, vauhdin ja oman kunnan mukaisesti. (Andersson ym. 2010).

2.1 Maastohiihdon fysiologia

Maastohiihdossa tärkeitä fysiologisia ominaisuuksia ovat ylä- ja alavartalon lihasten samanaikainen työskentely, aerobinen ja anaerobinen teho, voima, kestävyys, nopeus sekä tekninen ja taktinen osaaminen. Lisäksi haastetta tuovat maastoprofiilien ja sääolosuhteiden vaihtelut ja kilpailut korkeassa ilmanalassa. Kuvassa 2 on esitetty tiivistettynä maastohiihtosuoritukseen vaikuttavia tekijöitä. (Sandbakk & Holmberg 2014.)



KUVA 2. Maastohiihdossa vaadittavat ominaisuudet ja suorituskyykyyn vaikuttavat tekijät. (FK = fosfokreatiini, VO_{2max} = maksimaalinen hapenotto-kyky, BLaSmax = maksimilaktatitipitoisuuden tasanne, AnPmax = anaerobinen suoritusteho) (mukaeltu Noakes ym. 2001, Paavolainen ym. 1999 ja Rusko 2003, 18).

2.1.1 Maksimaalinen hapenottokyky

Maksimaalinen hapenottokyky (VO_{2max}) kuvaa hengitys -ja verenkiertoelimistön kykyä kuljettaa happea työtä tekeville lihaksille ja niiden kykyä käyttää sitä energiantuotossa (Holmberg, 2009, 102). VO_{2max} paranee erityisesti kestävyysharjoittelun seurauksena (Holmberg, 2009, 102) ja on tärkein yksittäinen tekijä kestävyysuomituskyvyn kannalta (Rusko 2003, 1). Sen suuruuteen vaikuttavat erityisesti sydämen iskutilavuus, verivolyyymi, veren jakautuminen työskenteleville lihaksille sekä mitokondrioiden määrä lihaksissa (Joyner & Coyle 2008). Urheilijoiden sydämen minuuttitulavuus on harjoittelemattomia suurempi. Minuuttitulavuus on suoraan yhteydessä sykkeeseen submaksimaalisella kuormitustasolla sekä maksimaaliseen hapenottokykyyn. (Holmberg, 2009, 102 - 105.) Parhailta maastohiihtäjillä minuuttitulavuus on noin 40 l/min ja iskutilavuus yli 200 ml. Iskutilavuuden kasvu selittää suurimman osan maksimaalisen minuuttitulavuuden kasvusta, kun taas maksimisyke ei muutu merkittävästi harjoittelun seurauksena. Iskutilavuuden kasvu johtuu sydämen vasemman kammion tilavuuden kasvusta, kammioden tehokkaammasta täyttymisestä ja parantuneesta joustavuudesta. (Sandbakk & Holmberg 2014.)

Maksimaalinen hapenottokyky voidaan ilmaista absoluuttisena (l/min) tai suhteellisena eli kehon painoon suhteutettuna (ml/kg/min) arvona. Molemmat arvot ovat merkittäviä, mutta erilaisissa tilanteissa riippuen maastosta ja olosuhteista. Suhteellinen arvo on merkittävämpi jyrkissä ylämäissä ja heikosti luistavissa olosuhteissa, kun taas absoluuttisella arvolla on enemmän merkitystä luisteluhiihdossa, loivissa ylämäissä, tasamaalla sekä alamäissä olosuhteista riippumatta. (Rusko 2003, 20 - 23.)

Tutkimusten mukaan työskentelevän lihasmassan määrä vaikuttaa maksimaalisen hapenottokyvyn suuruuteen, koska mitä enemmän lihaksia on työskentelemässä, sen suurempi on VO_{2max} . (Holmberg, 2009, 101.) Juoksuun verrattuna hiihdossa on mitattu suurempia VO_{2max} arvoja, johtuen juuri suuremmasta lihasmassan käytöstä, oksidatiivisten entsyymien aktiivisuudesta työskentelevissä lihaksissa sekä verenvirtauksesta aktiivisiin lihaksiin. (Rusko 2003, 4). Holmberg ym. (2007) tutkimuksessa huippuhiihtäjien suurin hapenkulutus mitattiin vuorohiihdossa, kun taas ylämäkijuoksussa ja tasatyönnössä saatiin 4 % ja 14 % alhaisempia arvoja. Maksimaalisen hapenoton merkitys korostuu Sandbakk & Holmberg (2014) mukaan ylämäkien ja vuorohiihdon tekniikoissa. Luisteluhiihdossa on aiemmin (Rusko 2003, 25 - 28) mitattu pienempi VO_{2max} kuin perinteisessä hiihdossa, mutta uudemmassa Holmberg ym. (2007) tutkimuksessa luisteluhiihdossa saavutettiin suurempia VO_{2max} arvoja verrattuna juoksuun ja tasatyöntöön, vaikka maksimisyke ei eronnut toisistaan suoritusmuotojen välillä.

Tasatyönnössä työskentelevän lihasmassan määrä on pienempi verrattuna luistelu- ja perinteiseen hiihtoon ja siksi huippuhihtäjät yltyvät harvoin tasatyönnössä yli 90%:iin heidän todellisesta VO_{2max} :sta. Myös Sandbakk ym. (2016) havaitsivat maailman parhaiden naishiihtäjien yltyvät tasatyöntötestissä vain noin 91 % luisteluhiihtäen suoritettun testin maksimihapenotosta. Sen sijaan Monahan'in (2016) tutkimuksessa vain naishiihtäjien VO_{2max} oli tasatyönnössä muita tekniikoita (mogren, wassberg, vuorohiihto, sauvakävely) merkittävästi alhaisempi, kun taas mieshiihtäjillä vastaavaa ero ei havaittu.

Saman VO_{2max} :n omaavilla hiihtäjillä suorituksessa ratkaisevana tekijänä on se, kumpi pystyy työskentelemään lähempänä omaa VO_{2max} :ää koko suorituksen ajan. Tähän vaikuttavat monet maitohapon tuottoon ja poistoon sekä veren laktaattipitoisuuteen yhteydessä olevat tekijät sekä hitaiden lihassolujen määrä ja lihasten oksidatiivinen kapasiteetti. Hiihtäjien on pystyttävä työskentelemään pitkään lähellä omaa VO_{2max} :ään, koska tutkimusten mukaan hapenkulutus nousee 15, 30 ja 50 kilometrin kilpailuissa 95 %, 90 % ja 85 % maksimihapenotosta. Lisäksi kovatehoisessa ja lyhytkestoisessa 10 - 15 minuutin kestoisessa suorituksessa hapenkulutus nousee erittäin lähelle maksimia. (Rusko 2003, 23 - 25.) Stöggl ym. (2007) tutkivat kolmen noin 217 sekuntia kestäneen perinteisen hiihtotavan sprinttisuorituksen fysiologisia vaikutuksia ja havaitsivat, että jokaisessa suorituksessa teho oli 91 - 96 % VO_{2max} ja syke 100 % maksimista.

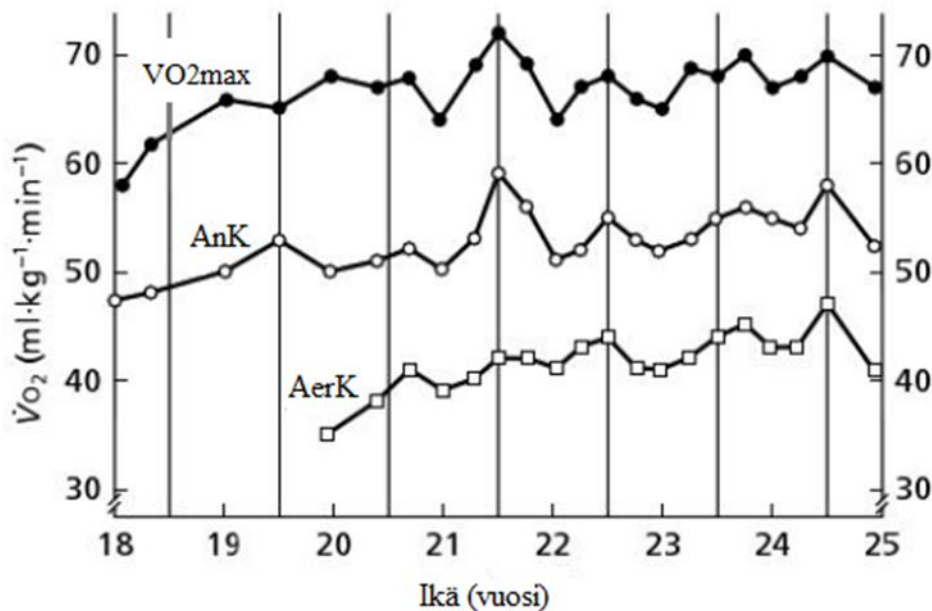
Huippuhihtäjien maksimaalinen hapenottokyky

Maksimaalinen hapenottokyky on tutkimusten mukaan huipputasoin mieshiihtäjillä noin 6 l/min tai 80 - 90 ml/kg/min (Holmberg 2015). Naishiihtäjien VO_{2max} on noin 10 % miehiä pienempi (Holmberg 2015), johtuen naisten alhaisemmasta veren hemoglobiinipitoisuudesta ja kehon suuremmasta rasvamäärästä (Joyner & Coyle 2008). Normaalimatkan ja sprintin hiihtäjillä on mitattu suhteellisen samanlaisia VO_{2max} arvoja, mutta heitä erottaa kuitenkin sprinttereiden suurempi anaerobinen kapasiteetti (Sandbakk & Holmberg 2014). Vuosien 1990 - 2013 aikana olympia- tai maailmanmestaruusmitalin saavuttaneiden norjalaisten normaalimatkan mieshiihtäjien VO_{2max} oli Tønnessen ym. (2015) tutkimuksessa keskimäärin 84 ml/kg/min ja naishiihtäjien 73 ml/kg/min. Miessprinttihuhtäjien VO_{2max} oli 80 ml/kg/min ja naissprinttereillä 69 ml/kg/min. Mitalistien ja ei -mitalistien välinen ero oli keskimäärin 2 ml/kg/min kullakin matkalla ja miehillä oli 15 % suurempi suhteellinen ja 50 % suurempi absoluuttinen maksimihapenottokyky naisiin verrattuna. (Tønnessen ym. 2015.)

Sandbakk ym. (2016) tutkimuksessa maailman cupin vuoden 2015 kuuden parhaan naishiihtäjän maksimaalisen hapenottokyvyn huippuarvo (VO_{2peak}) oli luisteluhiihtäen

suoritetussa laboratoriotestissä keskimäärin 71 ml/kg/min ja tasatyöntötestissä 65 ml/kg/min, kun taas kansallisen tason naishihtäjillä vastaavat lukemat olivat 65 ja 59 ml/kg/min. Huippuhihtäjiä ja kansallisen tason hiihtäjiä erotti tutkijoiden mukaan erityisesti huippuhihtäjien parempi aerobinen kapasiteetti ja erilaisten tekniikoiden hallinta sekä kyky suoriutua huipputasolla erilaisissa maastoissa. (Sandbakk ym. 2016.)

Ruskon (2003, 22 - 23) mukaan VO_{2max} kehittyy nuorilla 15 - 20 -vuotiailla hiihtäjillä iän ja harjoittelun myötä noin 1 - 3 ml/kg/min vuodessa. Huippuhihtäjillä VO_{2max} on usein jo sen verran korkea, ettei harjoittelu enää kehitä sitä kuin vain vähän (Losnegard ym. 2013). Kuitenkin myös huipulle päässeet hiihtäjät ovat pystyneet kasvattamaan hapenottokykyään 20 - 22 ikävuoden jälkeenkin, kuten kuva 3 osoittaa (Rusko 2003, 22 - 23). Ingjer ym. (1991) mukaan VO_{2max} vaihtelee kauden aikana ja suurimmat hapenoton arvot mitataan yleensä kilpailukaudella. Kauden aikainen VO_{2max} :n vaihtelu on parhaimmilla hiihtäjillä yleensä noin 3 - 10 % (Rusko 2003, 22 - 23). Kilpailukauden aikana ylävartalon lihasten hapenoton huippuarvon (VO_{2peak}) on myös havaittu vaihtelevan paljon ja sen on todettu olevan yhteydessä hiihtosuorituskykyyn (Holmberg 2009, 101).



KUVA 3. Maksimaalisen hapenottokyvyn (VO_{2max}), Anaerobisen kynnyksen (AnK) ja aerobisen kynnyksen (AerK) kehitys kansainvälisen tason naishihtäjillä (mukaeltu Rusko 2003, 25).

2.1.2 Hengitys- ja verenkiertoelimistön toiminta

Kestävyysharjoittelun seurauksena sympaattisen hermoston aktiivisuus ja stressihormonien erityis vähenevät, veritilavuus lisääntyy, laskimopaluu sydämeen parantuu ja sydämen venyvyys ennen supistusta lisääntyy. Mitä enemmän sydämeen virtaa verta, sitä enemmän se venyy ja sen supistusvoima parantuu ja tätä kutsutaan Frank -Starlingin laiksi. Venytyksen ansiosta sydän pystyy työskentelemään ja supistumaan tehokkaammin, ja tästä johtuen sen minuuttitilavuus kasvaa. (Rusko 2003, 1 - 2.)

Keuhkojen tärkein tehtävä levossa on siirtää happea sisään ja hiilidioksidia ulos elimistöstä (Rusko 2003, 3), kun taas kestävyysharjoittelun aikana niiden tulee ylläpitää valtimon happisaturaatiota ja elimistön happo- emäs- tasapainoa suorituksen kannalta optimaalisena (Holmberg 2015). Maksimaalisessa suorituksessa huippuhiittäjien keuhkoventilaatio voi olla jopa yli 200 l/min ja hengitysilhasten hapenkulutus noin 10 - 15 % maksimaalisesta hapenottokyvystä. Maksimisuorituksen aikana kyky ylläpitää korkeaa ventilaatiota ja vastustaa väsymystä on tärkeää ja saattaa olla suoritusta rajoittava tekijä. (Rusko 2003, 3 - 4.)

Verimuuttujista maastohiihtäjille tärkeimpiä ovat punasolujen kokonaismassa, hemoglobiinimassa (Hb) sekä veren kokonaistilavuus. Hemoglobiinin ja hematokriitin (Hkr) arvot vaihtelevat yksilöllisesti. Korkeanpaikan harjoittelusta johtuen hiihtäjien punasolumassa ja veritilavuus ovat kasvaneet viime vuosikymmenien aikana muuhun väestöön verrattuna ja samanlainen suunta on havaittavissa myös hemoglobiinin osalta. (Rusko 2003, 3.) Huippuhiittäjien veren hemoglobiinipitoisuus oli Lundgren ym. (2015) tutkimuksessa 20 - 35 % ja veritilavuus 20 - 30 % korkeampia harjoittelemattomiin verrattuna. Taulukossa 1 on esitetty huippuhiittäjien veriarvoja verrattuna harjoittelemattomiin (Rusko 2003, 3).

TAULUKKO 1. Harjoittelemattomien ja huippuhiittäjien veriarvoja (mukaeltu Rusko 2003, 3).

	Harjoittelemattomat	Huippuhiittäjät
Punasolumassa (l)	2,2	3,0
Plasmavolyymi (l)	2,8	3,6
Verivolyymi (l)	5,0	6,6
Hematokriitti (%)	44	45
Hemoglobiini (g/l)	155	160

Pitkillä 30 ja 50 kilometrin kilpailumatkoilla lihassoluissa olevien mitokondrioiden määrä, kapillarisaatio sekä lihasten oksidatiivinen kapasiteetti ovat tärkeässä roolissa. Hiihtäjien käsi-

rullahiihtotestissä anaerobisen energiantuoton osuus oli noin 26 % Losnegard ym. (2012) tutkimuksessa ja anaerobinen kapasiteetti oli suorassa yhteydessä sprinttisuorituskykyyn. Myös pidemmillä matkoilla anaerobisen energiantuoton osuus vaihtelee kilpailun aikana maaston mukaan, mutta kokonaisuudessaan sen osuus on pieni, kuten taulukko 2 osoittaa. (Rusko 2003, 5.)

TAULUKKO 2. Aerobisen ja anaerobisen energiantuoton keskimääräinen jakautuminen hiihdon eri kilpailumatkoilla sekä rasvojen ja hiilihydraattien käyttösuhde (mukaeltu Rusko 2003, 5).

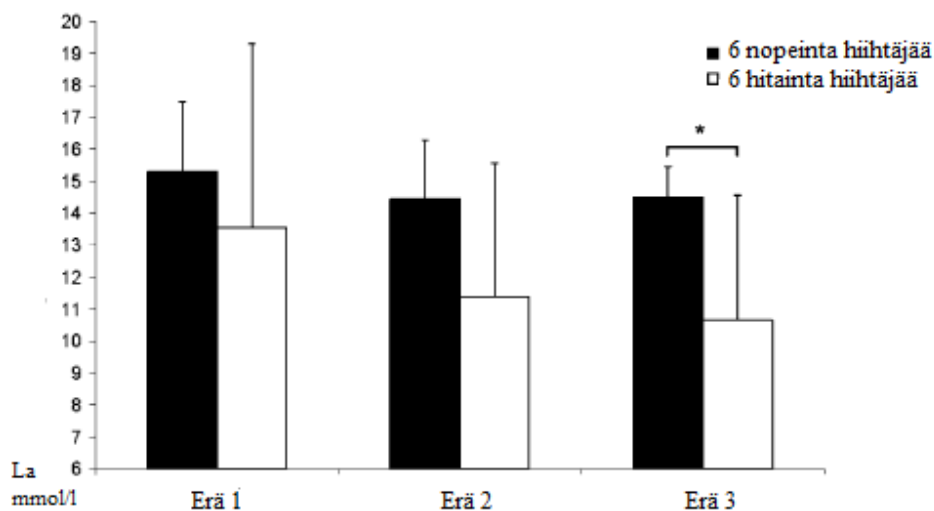
Matka / aika (km/min)	Energiantarve (kJ)	Aerobinen / Anaerobinen (%)	Rasvat/Hiilihydraatit (%)
1 /2 (sprintti)	400	50/50	1/99
5/15	1600	90/10	5/95
10	3000	95/5	10/90
15	4500	97/3	20/80
30	9000	99/1	40/60
50	15000	99/1	50/50

Lihasten ATP -pitoisuus on tarkasti säädeltyä eivätkä ATP -varastot tyhjene edes maksimaalisen anaerobisen suorituksen aikana täysin kokonaan. Sen sijaan FK -varastot tyhjenevät heti suorituksen alussa, mutta sen jälkeen sitä pystytään tuottamaan nopeasti lisää. Rullahiihtäen suoritetuissa laboratoriotesteissä on havaittu FK-varastojen tyhjenevän jo ensimmäisen 1 - 2 minuutin aikana 30 - 70 %. Kuitenkin suorituksen jälkeisen 1 - 2 minuutin palautuksen aikana FK:a pystyttiin syntetisoimaan lisää noin 75 %. Hiihdossa alamäkien aikana jalkojen lihakset eivät pysty täysin rentoutumaan ja verenkierto niihin on rajoittunutta. Tämän vuoksi jalkalihasten FK -varastot eivät täysin palaudu alamäissä, mutta sen sijaan käsilihaksissa ne palautuvat alamäkien aikana melkein kokonaan. (Rusko 2003, 5-6.)

Kovatehoisissa suorituksissa tuotetaan paljon anaerobista energiaa, jolloin suuri määrä pyruvaattia muunnetaan laktaatti -ioneiksi ja elimistön happamuus nousee. Happamuuden nousu heikentää lihassupistusta estämällä ATP:n tuottoa, mutta happamuuden nousua vastaan voidaan taistella niin lihaksen sisäisten kuin myös veressä kiertävien puskurien avulla. Puskurointikyky ja kyky sietää happamuutta ovat tärkeitä kovatehoisissa ja lyhytkestoisissa anaerobisissa suorituksissa. Hiihdossa laktaatin tuotto lisääntyy ylämäissä, mutta alamäissä lihasten oksidatiivisen prosessin aktivoituessa laktaatin poisto käynnistyy ja tämä auttaa pitämään veren laktaattipitoisuuden siedettävissä rajoissa. (Rusko 2003, 6 - 7.) Tasatyönnössä työskentelee vähemmän lihaksia verrattuna luistelu - ja vuorohiihtoon, ja siksi tasatyönnössä

veren laktaattipitoisuuden on havaittu nousevan korkeammaksi (Rusko, 2003, 25 - 28). Lisäksi hiihdossa käsilihasten on todettu tuottavan enemmän laktaattia jalkalihaksiin verrattuna (Homberg ym. 2007).

Kilpailuiden aikana hiihdossa on havaittu veren laktaattipitoisuuden nousua 5 - 10 mmol/l tasolle ensimmäisen 10 minuutin aikana, mutta tämän jälkeen laktaattipitoisuus tasaantuu kilpailun loppua kohden (Rusko 2003, 6 - 7). Stöggl ym. (2007) tutkimuksessa parhaat hiihtäjät pystyivät tuottamaan enemmän laktaattia noin 3,5 minuutin kestoisessa ja kolme kertaa suoritettavassa sprinttihiihtosuorituksessa viimeisen suorituksen aikana hitaimpiin verrattuna, koska heidän anaerobinen kapasiteettinsa oli parempi ja tämän voi havaita kuvasta 4. Jotta työskentely korkealla teholla olisi mahdollista, tulee myös laktaatin poiston olla tehokasta. Pitkässä suorituksessa laktaatin tuoton ja poiston välille kehittyi usein tasapaino. (Rusko 2003, 23 - 25.)



KUVA 4. Veren laktaattipitoisuus (La) Stöggl ym. (2007) tutkimuksessa jokaisen kolmen erän jälkeen kuuden nopeimman ja hitaimman hiihtäjän osalta. Kolmannessa erässä nopeimpien ja hitaimpien hiihtäjien laktaattipitoisuuden ero oli tilastollisesti merkitsevä (*). (mukaeltu Stöggl ym. 2007.)

Myös Mikkola ym. (2010) havaitsivat, että nopeimmat sprinttihiihtäjät pystyivät hiihtämään kaikki neljä 850 metrin pituista erää ilman laktaatin haitallista kasaantumista, vaikka heidän veren laktaattipitoisuutensa oli hitaampia sprinttihiihtäjiä korkeampi. Tutkijoiden mukaan nopeimpien hiihtäjien parempi aerobinen kapasiteetti esti happamuuden liiallista nousua suorituksen aikana. (Mikkola ym. 2010.) Kilpailun jälkeen veren laktaattipitoisuus on yleensä

9 - 17 mmol/l 10 - 15 kilometrin matkoilla ja 3 - 10 mmol/l 30 - 50 kilometrin matkoilla. Pidemmällä matkoilla kilpailun jälkeiset laktaattipitoisuudet eivät nouse yhtä korkeiksi kuin lyhyemmällä matkoilla, koska glykogeenivarastojen ehtyminen matkan aikana heikentää laktaatin tuotantoa. Yksilön puskurointikyky vaikuttaa myös kilpailun jälkeiseen veren laktaattipitoisuuteen. (Rusko 2003, 6 - 7.)

ATP:n synteesissä ruuasta saadut hiilihydraatit ja rasvat pilkkoutuvat lihassoluissa pienemmiksi molekyyleiksi, joista ne kuljetetaan edelleen mitokondrioon. Mitokondriossa sen omat entsyymit katalysoivat reaktion, jossa tuotetaan suuri määrä ATP:a. Rasvojen ja hiilihydraattien käytösuhde riippuu suorituksen kestosta sekä edeltävästä ateriasta. Kuten taulukosta 2 havaitaan, pitkässä 50 kilometrin kilpailussa hiilihydraattien osuus energianlähteistä vaihtelee matkan aikana, mutta on keskimäärin 50 - 60 %. Kuitenkin hiilihydraattitankkauksen jälkeen luku voi olla ensimmäisen 10 kilometrin aikana 70 - 80 %, mutta laskee viimeisen 5 - 10 kilometrin aikana alle 20 - 30 %:in. Myös proteiinien osuus energianlähteistä saattaa olla 5 - 10 % pitkässä suorituksessa. (Rusko 2003, 7 - 8.)

Pääenergianlähteenä kestävyysuorituksessa käytetään ruuan kautta nautittuja hiilihydraatteja sekä lihasten ja maksan glykogeenivarastoja. Hiihtäjien glykogeenivarastot ovat noin kaksi kertaa suurempia keskimääräiseen väestöön verrattuna ja niiden merkitys kestävyysuorituskyvyn kannalta on suuri. (Holmberg ym. 2007.) Pitkässä suorituksessa lihasten glykogeenivarastojen ehtyminen heikentää anaerobista energiantuotantoa, aiheuttaa väsymistä sekä hidastaa kilpailuvauhtia. Lihasten alhaiset glykogeenivarastot sekä veren matala glukoosipitoisuus aktivoivat keskushermostoon yhteydessä olevia reseptoreita. Näiden reseptorien viemä palaute saa keskushermoston muuttamaan toimintaansa lihassolujen rekrytoinnissa ja tästä aiheutuu keskushermoston kautta aiheutuva väsymys. Alla olevassa taulukossa 3 voidaan nähdä lihasglykogeenin ja veren laktaattipitoisuuden muutokset eri kilpailumatkoilla. (Rusko 2003, 9 - 10.)

TAULUKKO 3. Lihasglykokeenin ja veren laktaattipitoisuuden muutokset naisten 10 kilometrin sekä miesten 15 ja 50 kilometrin kilpailuissa. Suluissa korkein mitattu lukema. (mukaeltu Rusko 2003, 9.)

	Naisten 10 km	Miesten 15 km	Miesten 50 km
Lihasglykokeeni (mmol/l)			
Ennen	110	106	160
Jälkeen	59	62	17
Veren laktaattipitoisuus (mmol/l)			
Ennen	0,8	1,1	0,8
Jälkeen	8,2 (15,4)	9,5 (12,1)	3,3 (4,4)

Väsymyksen sietokyky on yhteydessä glykokeenivarastojen suuruuteen ja siksi hiilihydraattien nauttiminen ennen suoritusta ja sen aikana viivästyttää väsymystä ja parantaa itse suoritusta. Hiihdossa lihasten glykokeenivarastot ehtyvät etenkin ylämäissä. Luisteluhiihdossa lihasglykokeeni ehtyy luultavasti nopeammin verrattuna perinteiseen hiihtoon, koska luisteluhiihto sisältää enemmän tasatyöntöä ja jalkalihasten työ on staattisempaa. Lisäksi tasatyönnössä glykokeenivarastot tyhjenevät vuorohiihtoa nopeammin johtuen suuremmasta käsilihasten käytöstä. Esimerkiksi 10 - 15 kilometrin kilpailussa lihasten glykokeenivarastot vähenivät 50 % ja 50 kilometrin kilpailussa 10 - 15 %. Käsilihasten glykokeenivarastot saattavat tyhjentyä pitkässä suorituksessa lähes kokonaan, mitä taas ei tapahdu jalkalihaksissa. Korkeassa ilmanalassa järjestetyissä kilpailuissa ja harjoituksissa glykokeenin käyttö on normaalia nopeampaa. (Rusko 2003, 9 - 10.)

Hiilihydraattitankkaus lisää glykokeenivarastoja ja samalla niiden käyttöä, kun taas rasvatankkaus päinvastoin vähentää glykokeenivarastoja ja niiden käyttöä. Rasvojen käyttö energiaksi paranee kestävyysharjoittelun seurauksena ja huippuhihtäjillä se on paljon tehokkaampaa harjoittelemattomiin verrattuna. (Rusko 2003, 9 - 10.) Hiihtäjillä saattaa olla jopa neljä kertaa suuremmat solunsisäiset rasvavarastot verrattuna harjoittelemattomiin (Holmberg ym. 2007). Hiilihydraattitankkauksessa maksan glykokeenivarastot täyttyvät lihasglykokeenin kanssa samaa tahtia, mutta tyhjenevät melkein kokonaan 1,5 - 3 tunnin kovatehoisen suorituksen aikana. Lihasglykokeenin ehtyessä pitkässä suorituksessa kehon rasvavarastojen merkitys korostuu. Lisäksi maksan kyky syntetisoida ja vapauttaa glukoosia paranee harjoittelun myötä. (Rusko 2003, 9 - 10.)

2.1.4 Hiihdon taloudellisuus

Suorituksen taloudellisuus on merkittävä tekijä kestävyyslajeissa. Se on yhteydessä hapenkulutukseen, koska mitä pienempi on hapenkulutus submaksimaalisessa kuormituksessa, sen parempi on liikkumisen taloudellisuus eli siihen käytetty energia on vähäisempää. Parantunut taloudellisuus johtuu muun muassa lihasten oksidatiivisen kapasiteetin kehittymisestä, muutoksista motoristen yksiköiden rekrytoinnissa ja tekniikan paranemisesta. (Jones & Carter, 2000.)

Suorituksen taloudellisuutta voi parantaa monella eri tavalla vaikuttamalla aineenvaihdunnallisiin, biomekaanisiin ja hermolihaskäytännön tekijöihin. Tähän yleisimpiä tapoja ovat voimaharjoittelu, plyometrinen harjoittelu sekä räjähtävän voiman harjoittelu, joiden on todettu parantavan taloudellisuutta hermolihaskäytännön osalta urheilijan tasosta riippumatta. Tutkimusten mukaan kuitenkin paras tapa parantaa taloudellisuutta on harjoitella lähes maksimaalisella tai supramaksimaalisella intensiteetillä sekä tasamaalla että ylämäissä. Taloudellisuus kuitenkin paranee vain niissä vauhdeissa, joilla harjoitellaan. Se on siis spesifinen ominaisuus vauhtien osalta. (Barnes & Kilding, 2014.)

Hiihdossa taloudellisuus vaihtelee urheilijoiden välillä, koska laji vaatii maastojen mukaista teknistä ja taidollista osaamista. Ilmanvastus, suksen ja lumen välinen kitka, ylämäkien osuus, maaston ominaisuudet, hiihtonopeus ja lumiolosuhteet vaikuttavat maastohiihdossa energiankulutukseen. Näiden lisäksi vaikutusta on myös suksien ja voiteiden valinnalla, iällä sekä harjoittelulla. Tasamaalla hiihtäessä kaikkein taloudellisimmin tekniikka on tasatyöntö ilman potkua, seuraavaksi luisteluhiihto ja näiden jälkeen vuorohiihto. Ylämäissä luistelu - ja vuorohiihto ovat tasatyöntöä taloudellisemmat tekniikat. Vauhdin kasvun myötä tasatyöntön taloudellisuuden on havaittu heikentyvän, kun taas luisteluhiihdossa ei tapahdu muutosta. (Rusko 2003, 25 - 28.) Sandbakk ym. (2010) sprinttihiihtotutkimuksessa kansainvälisen tason hiihtäjät olivat kansallisen tason hiihtäjiä taloudellisempia. Taloudellisuus johtui erityisesti kansainvälisen tason hiihtäjien paremmasta hiihtotekniikasta ja lajinomaisesta voimantuotosta.

2.2 Hermo -lihasjärjestelmän vaatimukset

Kestävyyslajista huolimatta hiihdossa tarvitaan myös hyviä voima -ja nopeusominaisuuksia. Hiihtäjiltä vaaditaan hyvää hermo -lihasjärjestelmän toimintakapasiteettia hyvän hiihtotekniikan, vauhdin ja taloudellisuuden ylläpitämiseksi silloinkin, kun kovatehoisessa suorituksessa hapenotto ja veren laktaattipitoisuus nousevat korkeiksi. Lisäksi hermo -

lihasjärjestelmän ominaisuudet yhdessä anaerobisten tekijöiden kanssa vaikuttavat maksimaaliseen ja submaksimaaliseen anaerobiseen tehoon. (Rusko 2003, 10 - 15.)

Ihmisen kaikissa lihaksissa on sekä nopeita II -tyypin että hitaita I -tyypin lihassoluja. Nopeat II -tyypin lihassolut jaetaan edelleen glykolyyttisiin eli väsyviin sekä oksidatiivisiin eli väsymystä sietäviin lihassoluihin. Hiihtäjien kohdalla melkein kaikilla nopeilla II -tyypin lihassoluilla on korkea oksidatiivinen kapasiteetti ja hyvä väsymyksen sietokyky (Rusko 2003, 10 - 15). Vuosien 1960 - 1990 saatujen tutkimusten perusteella hiihtäjien sekä ylä - että alavartalon lihaksisto koostuu noin 70 - 75 % hitaista tyypin I -lihassoluista (Holmberg ym. 2007).

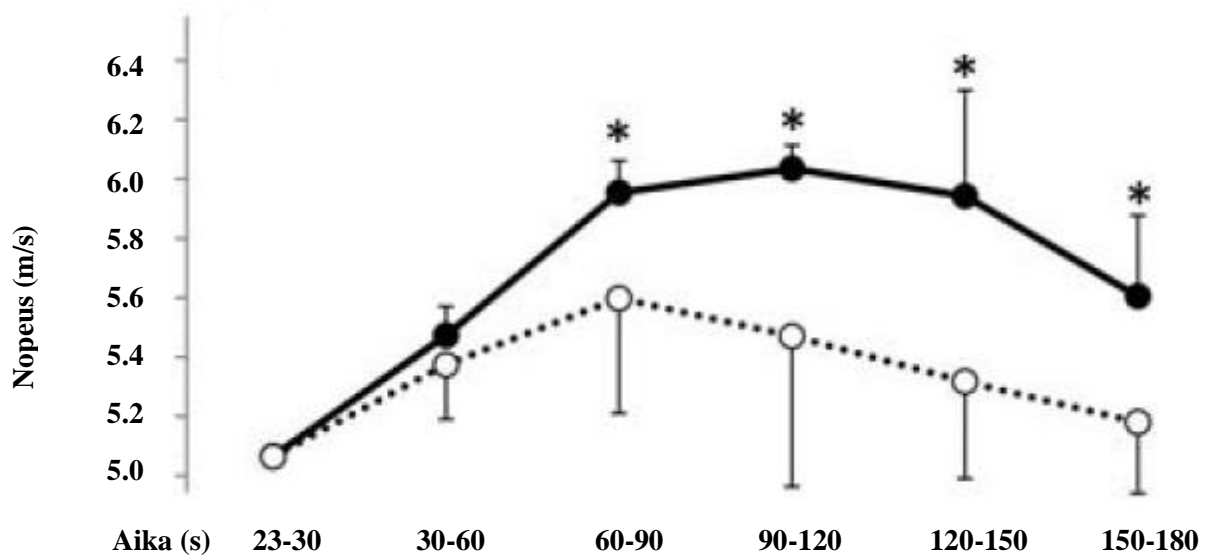
Hitaiden lihassolujen määrän on havaittu olevan yhteydessä maksimaaliseen hapenottokykyyn, harjoittelun määrään sekä anaerobisen kynnyksen ja VO_{2max} :n kehittymispotentiaaliin. Korkea VO_{2max} kertoo siten hitaiden lihassolujen suuresta määrästä hiihtäjillä. (Rusko 2003, 10 - 12.) Vuonna 1990 hiihtäjien lihassolujen poikkipinta-alat olivat noin 15 - 25 % suurempia 1960 - luvun hiihtäjiin verrattuna ja tämä ilmeni erityisesti käsien lihaksissa, jotka myös sisälsivät 14 % enemmän nopeita tyypin II- lihassoluja jalkalihaksiin verrattuna. Tämä johtuu todennäköisesti lisääntyneestä voiman ja tehon harjoittelusta. (Holmberg ym. 2007.)

Fyysisen suorituksen aikana lihasglykogeeniä käytetään sekä nopeista että hitaista lihassoluista suorituksen tehosta ja kestosta riippuen. Hiihdossa glykogeeniä käytetään pääosin hitaista lihassoluista, koska hiihtäessä voimantuotto on suhteellisen pientä ja hiihtäjien lihakset sisältävät enemmän hitaita lihassoluja. Esimerkiksi molemmilla 15 ja 50 kilometrin matkoilla glykogeeniä ehtyi noin 90 % hitaista ja 50 % nopeista lihassoluista. (Rusko 2003, 10 - 12.)

Tutkimusten mukaan hiihdossa mitatut voimat ovat sitä pienempiä, mitä pidempi matka on kyseessä. Vuorohiihdossa jalan potkuvoima on maastosta riippuen 2 - 3 kertaa kehon painon suuruinen, kun taas luisteluhiihdossa voimantuotto jää hieman tätä matalammaksi. Voimantuottoaika on vuorohiihdossa 100 - 200 millisekuntia ja luisteluhiihdossa hieman pidempi, 300 - 800 millisekuntia, johtuen luisteluhiihdossa tapahtuvasta liukuvaiheesta. Ylämäkeen suoritettussa vuorohiihdossa voimantuotto on matalampaa, voimantuottoaika pidempi ja lihasten palautumisaika lyhyempi verrattuna vuorohiihtoon tasamaalla. Tasatyönnössä ja vuorohiihdossa mitatut käsien työntövoimat ovat 100 - 400 Newtonia ja voimantuottoajat 300 - 400 millisekuntia. (Rusko 2003, 13 - 15.) Voiman nopea tuottaminen on tärkeää erityisesti vuorohiihdossa ja tasatyönnössä suurilla nopeuksilla, koska niissä aika voiman tuottamiseen on lyhyt (Rusko 2003, 28 - 30). Naishiihtäjien voimantuotto on

tutkimusten mukaan noin 10 - 20 % miehiä matalampaa, mutta voimantuottoajat eivät eroa toisistaan sukupuolten välillä. (Rusko 2003, 13 - 15.)

Parhailla hiihtäjillä on vuorohiihdossa suurempi voimantuotto, lyhyempi voimantuottoaika sekä pidempi liu'un pituus, jonka vuoksi heillä on potkun alkuvaiheessa tehokkaampi lihasten esiaktiivisuus, venymis -lyhenemis -syklin käyttö sekä elastisen energian hyödyntäminen. Viime vuosina myös luisteluhiihdossa on alettu hyödyntämään elastista energiaa kun hiihtäjät ”hypähtävät” jalalta toiselle etenkin ylämäissä kovan vauhdin aikana. (Rusko 2003, 13 - 15.) Naishuippuhihtäjillä oli kolmen minuutin tasatyöntötestissä nopeampi työntön tahti kansallisen tason naishiihtäjiin verrattuna, mikä johti 10 % suurempaan vauhtiin testin toisella puoliskolla, kuten kuva 5 osoittaa. Huippuhihtäjien nopeampi työntötahti osoittaa, että he kykenevät nopeampaan voimantuottokykyyn sekä sietävät paremmin väsymystä kansallisen tason hiihtäjiin verrattuna. (Sandbakk ym. 2016.) Stöggl ym. (2011) mukaan hiihtäjät tarvitsevat tietyn voimatason suoriutuakseen hyvällä tasolla, mutta myös hyvän hiihtotekniikan, joka edesauttaa voiman välittymistä itse hiihtosuoritukseen. Riittävät voimatasot myös ennalta ehkäisevät loukkaantumisia.



KUVA 5. Kolmen minuutin tasatyöntötestin nopeuden muutos kansainvälisen tason (suljettu ympyrä) ja kansallisen tason (avoin ympyrä) naishiihtäjillä, jossa tilastollisesti merkitsevä (*) ero ryhmien välillä havaittiin 60 - 180 sekunnin ajalta (mukaeltu Sandbakk ym. 2016).

3 HUIPPUHIIHTÄJIEN OMINAISPIIRTEET JA HARJOITTELU

3.1 Huippuhihtäjien ominaispiirteet

Tänä päivänä hiihtäjiltä vaaditaan entistä enemmän hyvää anaerobista kapasiteettia, ylävartalolihasvoimaa ja teknistä taitoa suurilla nopeuksilla. (Sandbakk & Holmberg 2014.) Lisäksi sprinttihilaidon ja yhteislähtökilpailuiden mukaantulon myötä myös nopeus- ja voimaominaisuuksien (Losnegard ym. 2013) sekä taktisen osaamisen (Sandbakk & Holmberg 2014) merkitys korostuu. Tutkimusten mukaan huippuhihtäjien aerobinen kapasiteetti ei ole juurikaan muuttunut nykypäivän ja aiempien vuosien välillä. Sen sijaan hiihtäjien ylävartalon lihaksiston voima ja kestävyys ovat parantuneet merkittävästi. (Sandbakk & Holmberg 2014.)

Normaalimatkojen hiihtäjille tärkeimpiä ominaisuuksia ovat muun muassa maksimaalinen hapenottookyky ja taloudellisuus (Mahood ym. 2001), sprinttimatkoilla taas anaerobinen kapasiteetti (Losnegard ym. 2012) ja nopeusominaisuudet (Andersson ym. 2009). Kilpailun aikana hiihtäjät vaihtelevat tekniikoita useita kertoja, koska hiihtämisen tulee olla mahdollisimman taloudellista kilpailun eri tilanteissa. Lisäksi hermo -lihasjärjestelmän kyky rekrytoida lihaksia, tuottaa voimaa ja tehoa sekä sietää väsymystä on tärkeässä roolissa koko hiihtosuorituksen kannalta. (Rusko 2003, 1.)

Nopeimmilla sprinttihilaidäjillä oli Mikkola ym. (2010) tutkimuksessa suurempi absoluuttinen hapenkulutus, anaerobinen teho sekä anaerobisen hiihdon taloudellisuus hitaampiin sprinttihilaidäjiin verrattuna. Tutkijoiden mukaan sprinttihilaidäjille sekä aerobiset että anaerobiset ominaisuudet ovat suorituksen kannalta tärkeitä ja aerobisten ominaisuuksien merkitys korostuu erityisesti sprintin viimeisissä erissä väsymyksen lisääntyessä. Sandbakk ym. (2011) tutkimuksessa kansainvälisen ja kansallisen tason sprinttihilaidäjiä erotti kansainvälisen tason hiihtäjien parempi aerobinen kapasiteetti, suorituksen taloudellisuus sekä nopeuskapasiteetti. Lisäksi Losnegard & Hallén (2014) tutkimuksessa sprinttihilaidäjien anaerobinen kapasiteetti oli parempi, absoluuttinen VO_{2max} korkeampi ja he pystyivät työskentelemään suuremmalla teholla maksimaalisesta hapenottokyvystään normaalimatkojen hiihtäjiin verrattuna, joilla vastaavasti oli korkeampi suhteellinen VO_{2max} .

Hiihtäjien kehonpaino vaihtelee sprinttihilaidäjien ja normaalimatkan hiihtäjien välillä ja sillä on tutkimusten mukaan myös vaikutusta itse hiihtosuoritukseen. Sprinttihilaidäjiä tutkineet Mikkola ym. (2010) havaitsivat kehon painon olevan positiivisesti yhteydessä

sprinttiiihtosuoritukseen. Sen sijaan normaalimatkoilla Carlsson ym. (2015) mukaan painavammilla hiihtäjillä vauhti hidastuu kilpailun edetessä kevyempiä hiihtäjiä enemmän. Kansainvälisen tason mieshiihtäjistä sprintterit olivat pidempiä, painavampia ja heillä oli korkeampi painoindeksi (BMI) normaalimatkoihin erikoistuneisiin hiihtäjiin verrattuna Losnegard & Hallén (2014) tutkimuksessa.

3.2 Harjoittelu maastohiihdon huipulla

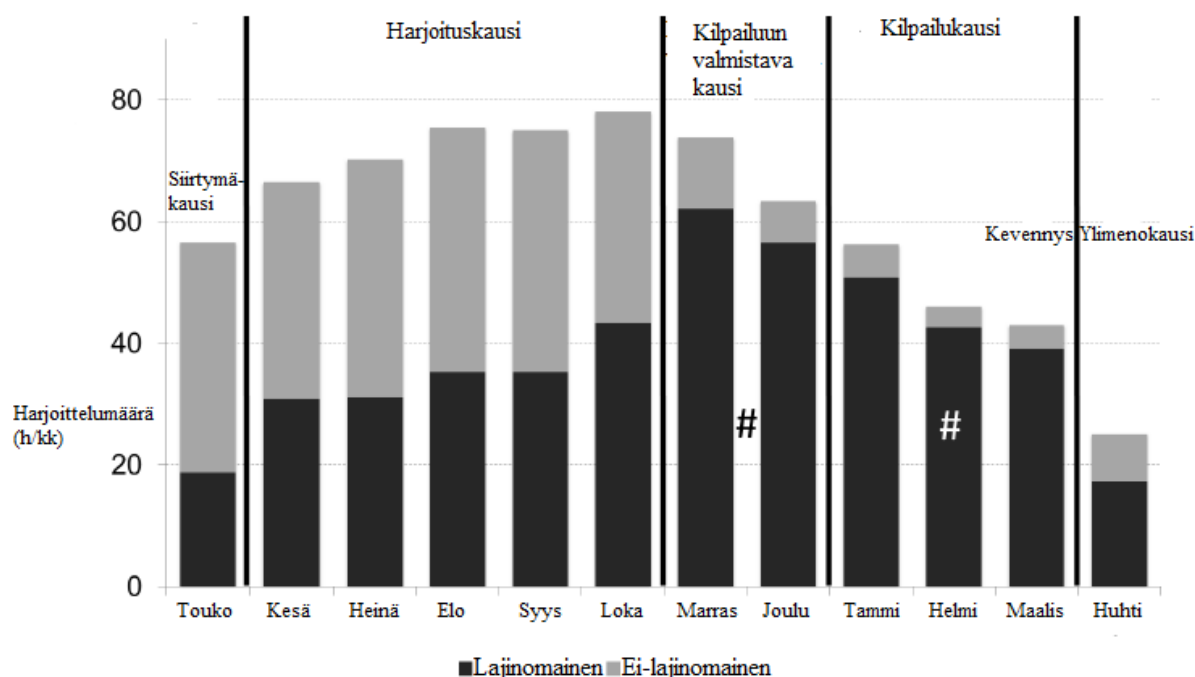
Maastohiihtäjien harjoittelussa on havaittavissa muutosta Tønnessen ym. (2014) mukaan vuosien 1985 - 2011 aikana. Harjoitusmäärät ovat nousseet harjoituskertojen lisääntymisen johdosta, kun taas yhden harjoituksen keskimääräinen kesto 1,7 tuntia on pysynyt suunnilleen samana. Lisäksi Sandbakk & Holmberg (2014) mukaan viimeisen kolmen vuosikymmenen aikana hiihtäjien rullahiihtoharjoittelu sekä ylävartalon voiman ja kestävyuden harjoittelu on lisääntynyt.

Losnegard ym. (2013) tutkimuksessa kansainvälisen tason mieshiihtäjien yhden kauden kokonaisharjoittelumäärä oli noin 700 tuntia, josta 8 - 10 % oli voima- ja nopeusharjoittelua. Toisessa Tønnessen ym. (2014) tutkimuksessa 11 olympiavoiton tai maailmanmestaruuden voittaneen hiihtäjän harjoitustietoja tarkasteltiin heidän menestyneimmän kautensa osalta. Kokonaisharjoitusmäärä oli menestyneimmän kauden aikana noin 800 tuntia ja harjoituskertoja noin 500. Kestävyysharjoittelun osuus oli 94 %, voimaharjoittelun 5 % ja sprinttiiihtoharjoittelun 1 %. Poikkeuksellisia tuloksia löydettiin Sandbakk ym. (2016) tutkimuksessa, jossa vuoden 2015 parhaan naishiihtäjän kokonaisharjoittelumäärä yhden kauden osalta oli jopa noin 980 tuntia.

Maastohiihtäjät harjoittelevat yleisesti niin sanotun polarisoidun mallin mukaisesti, jossa harjoittelu koostuu viidestä eri tehoalueesta (Sandbakk & Holmberg 2014). Alueet 1 - 2 ovat alle aerobisen kynnyksen, alue 3 on kynnysten välillä ja alueet 4 - 5 yli anaerobisen kynnyksen (Tønnessen ym. 2014). Suurimmaksi osaksi harjoitellaan matalalla intensiteetillä, kovalla teholla vähemmän ja niiden välisellä tehoalueella vähiten (Sandbakk & Holmberg 2014). Tønnessen ym. (2014) tutkimuksessa kestävyysharjoituksista 91 % suoritettiin matalalla intensiteetillä tehoalueilla 1 - 2 ja 9 % korkealla intensiteetillä tehoalueilla 3 - 5.

Lajinomaista harjoittelua rullilla ja lumella oli Tønnessen ym. (2014) tutkimuksessa kokonaisharjoitusmäärästä 64 % eli noin 500 tuntia ja loput 36 % ja 300 tuntia muita lajeja, kuten pyöräilyä ja juoksua. Myös Sandbakk ym. (2016) tutkimuksessa naishuippuhiihtäjillä lajinomaista harjoittelua oli harjoituskaudella 50 - 60 % ja loput 45 % oli pääsääntöisesti

juoksua erilaisilla alustoilla. Yhden kuukauden aikana harjoittelua oli noin 89 tuntia, josta 80 tuntia oli kestävyysharjoittelua. Kovatehoisia harjoituksia oli läpi harjoituskauden 2 - 3 kertaa viikossa, poikkeuksena kuitenkin korkeanpaikan leirit, jolloin niiden määrä väheni. Naishuippuhihtäjät suorittivat harjoituskaudella 2 - 3 kertaa viikossa pidemmän yli 2,5 tunnin kestävyysharjoituksen ja se erotti heidät kansallisen tason naishihtäjistä. (Sandbakk ym. 2016.) Myös Losnegard ym. (2013) tutkimuksessa saatiin samankaltaisia tuloksia, kun lajinomaisen harjoittelun osuus oli harjoituskaudella koko harjoitusmäärästä 50 - 60 %, mutta lisääntyi kilpailukaudella 80 %:in, kuten kuvasta 6 voidaan havaita.



KUVA 6. Hiihtäjien lajinomaisen (hiihto ja rullahiihto) ja ei-lajinomaisen (juoksu, pyöräily ym.) harjoittelun (h) jakaantuminen harjoituskaudelle, kilpailua valmistavalle kaudelle sekä kilpailukaudelle. # ero lajinomaisen harjoittelun määrässä vrt. harjoituskauteen. (mukaeltu Tønnessen ym. 2014.)

Hiihtäjien voimaharjoittelu koostui Tønnessen ym. (2014) tutkimuksessa yleis-, maksimi- ja lajivoimasta. Sprinttiharjoittelu oli sekä lajinomaista sprinttihiihtoa että erilaisia hyppelyitä. Jopa noin 90 % koko kauden voima- ja sprinttiharjoittelusta tapahtui harjoituskaudella, mikä tarkoittaa 2 - 3 harjoitusta viikossa, kun taas kilpailukaudella harjoituksia oli keskimäärin kerran viikossa ja usein suoritettuna kestävyysharjoituksen jälkeen. Tutkijoiden mukaan urheilijat kehittivät voimatasojaan harjoituskauden aikana ja ylläpitivät niitä kilpailukauden ajan. Holmberg (2009, 101) mukaan maksimivoimaharjoittelulla voidaan saada parannettua huomattavasti hiihtäjien tasatyöntösuoritusta ja myös koko hiihtosuorituksen taloudellisuutta.

Østerås ym. (2016) kuitenkin huomauttavat, ettei voimaominaisuuksien kehittäminen saisi haitata aerobista harjoittelua, joka edelleen on merkittävä tekijä suorituksen kannalta.

Hegge ym. (2015) havaitsivat norjalaisten kansainvälisen tason mieshiihtäjien harjoittelun sisältäneen enemmän ylävartaloon kohdistuvaa voimaharjoittelua naishiihtäjiin verrattuna. Tutkijoiden mukaan naishiihtäjillä olisi runsaasti potentiaalia kehittää suorituskyykyään ylävartalon lihasten voimaharjoittelulla. Kansainvälisen tason miessprinttihiihtäjillä oli enemmän nopeus- ja voimaharjoittelua normaalimatkojen hiihtäjiin verrattuna Losnegard & Hallén (2014) tutkimuksessa. Samoin Sandbakk ym. (2016) tutkimuksessa kansainvälisen tason naishiihtäjät harjoittelivat enemmän voimaa ja nopeutta kansallisen tason naishiihtäjiin verrattuna. He havaitsivat, että vuoden 2015 maailman parhaan naishiihtäjän harjoittelusta 2 % oli nopeusharjoittelua ja 11 % voimaharjoittelua koko kauden aikana.

Kilpailukauden lähestyessä huippuhiihtäjien harjoittelu muuttui ja polarisoitui tehoalueiden osalta. Tønnessen ym. (2014) tutkimuksessa hiihtäjien harjoitusmäärät laskivat 9 % harjoituskaudelta kilpailua valmistavalle kaudelle ja 32 % kilpailukaudelle siirryttäessä ja tämä tapahtui enimmäkseen ei-lajinomaisen harjoittelun vähenemisen myötä. Vastaavasti Losnegard ym. (2013) tutkimuksessa harjoitusmäärät laskivat 14 ja 24 %. Kovatehoinen harjoittelu lisääntyi Tønnessen ym. (2014) tutkimuksessa harjoituskaudelta kilpailua valmistavalle kaudelle, muttei enää kilpailukaudelle. Sen sijaan matalatehoinen harjoittelu väheni 31 % harjoituskaudelta kilpailukaudelle, samoin väheni kestävyys - ja voimaharjoittelun määrä, kun taas sprinttiharjoittelun määrä pysyi samana. Lajinomaisen harjoittelun osuus lisääntyi kauden edetessä ja oli harjoituskaudella 48 %, kilpailuun valmistavalla kaudella 87 % ja kilpailukaudella 92 % kokonaisharjoitusmäärästä. (Tønnessen ym. 2014.).

Maastohiihdon maailman cup - kiertue on tiivis ja hiihtäjät tekevät kauden aikana useita lyhyempiä kevennysjaksoja yhden isomman sijaan. Tønnessen ym. (2014) tutkimuksessa jokainen hiihtäjä suoritti keskimäärin viisi lyhyttä kovatehoista harjoitusta kilpailuita edeltävien 14 vuorokauden aikana. Yhtä hiihtäjää lukuun ottamatta kaikki suorittivat kovatehoiden harjoituksen vielä 48 tuntia ennen pääkilpailua. Urheilijoiden lepopäivä sijoittui yleisesti 6 - 12 kilpailua edeltävälle päivälle. (Tønnessen ym. 2014.)

3.3 Fyysiset testit ja niiden yhteys suorituskyykyyn

Erilaisten fysiologisten ominaisuuksien seuraaminen kauden aikana on tärkeää, jotta harjoittelua pystytään ohjaamaan oikeaan suuntaan (Losnegard ym. 2013). Urheilijoita olisi hyvä testata jokaisen harjoitusjakson alussa ja lopussa, jotta kehittymisestä saataisiin

todenmukaisin kuva. Laboratoriotestien ohella myös helpot ja halvat kenttätetit juosten tai rullahiihtäen toimivat hiihtäjillä harjoituskaudella hyvinä suorituskyvyn mittareina. (Rusko 2003, 92 - 95, Larsson ym. 2002) Esimerkiksi noin 1 - 2 kilometrin pituinen ylämäkeen suoritettu lajinomainen kenttätesti kertoo luotettavasti suorituskyvystä (Mahood ym. 2001; Carlsson ym. 2014). Kenttätesteissä useimmiten mitatut muuttujat ovat sydämen syke ja veren laktaattipitoisuus. Mikäli testin kesto on 5 - 10 minuuttia, kertoo se hyvin hapenottokyvyn kehityksestä. Talven kenttätesteihin vaikuttavat usein ympäristö- ja sääolosuhteet, mutta näihin testeihin voidaan kehittää laktaatti-vauhti- ja syke -vauhti - käyriä. Veren laktaattipitoisuuden ja sydämen sykkeen lasku tietyillä vauhdeilla kertoo kehitymisestä. (Rusko 2003, 92 - 95.)

Laboratoriotetit kertovat suorituskyvystä standardoiduissa olosuhteissa, joissa ympäristö - ja sääolosuhteet eivät vaikuta tuloksiin. Ne kertovat luotettavasti hiihtäjien heikkouksista, vahvuuksista, harjoittelun onnistumisesta sekä aerobisista, anaerobisista ja hermo-lihasjärjestelmän ominaisuuksista. Lisäksi niiden avulla pystytään määrittämään sykerajat harjoittelua varten. Kauden aikana hiihtäjien olisi hyvä käydä 2 - 5 laboratoriotestissä. (Rusko, 2003, 95 - 96.)

Hiihdossa sekä aerobista että anaerobista kapasiteettia tulisi testata, koska molempia energiantuottotapoja käytetään suorituksen aikana (Mahood ym. 2001). Myös voiman testaus on tärkeää lajin luonteen vuoksi (Fabre ym. 2010). Harjoituskaudella tehdyt laboratoriotetit rullilla hiihtäen ennustivat luotettavasti tulevan kauden kilpailumenestystä Naef ym. (2009) tutkimuksessa. Rullahiihtäen suoritettavat testit kertovat hiihtosuorituskyvystä juosten tehtyjä testejä paremmin, koska niissä myös ylävartalo työskentelee lajinomaisesti (Mahood ym. 2001; Wisløff & Helgerud 1998, Monahan 2016). Kokovartalon työskentelyä mittaava testi olisi hyvä tehdä sauvakävellen, vuorohiihtäen tai wassberg -hiihtotekniikalla ja ylävartalon työskentelyä mittaava testi taas tasatyönnön tai mogrenin tekniikoilla (Monahan 2016).

Aerobiset testit

Mahood ym. (2001) mukaan fysiologisista muuttujista kilpailumenestyksen kanssa korreloivat erityisesti VO_{2max} , suorituksen taloudellisuus, kyky työskennellä pitkään anaerobisella kynnyksellä sekä ylävartalon lihasten VO_{2peak} (Mahood ym. 2001). Norjalaisilla kansainvälisen tason mieshiihtäjillä testeissä mitattu VO_{2max} korreloi FIS -pisteiden määrään ja ennusti luotettavasti kilpailumenestystä. (Losnegard ym. 2013.) Tasatyöntäen tehty rullahiihtotesti korreloi kansainvälisen tason naishiihtäjien kilpailusuorituksiin luisteluhiihtäen tehtyä testiä paremmin Fabre ym. (2010) tutkimuksessa, jossa VO_{2peak} ja suorituksen vauhti olivat

yhteydessä kilpailusuorituksiin vain tasatyönnössä. Sen sijaan Monahan'in (2016) tutkimuksessa naishiihtäjillä tasatyöntö osoittautui heikommaksi suoritustavaksi verrattuna muihin tekniikoihin (mogren, wassberg, vuorohiihto, sauvakävely) aerobista suorituskyyä mittaavassa testissä.

Rullahiihtäen tasatyönnössä mitattu VO_{2max} on noin 90 % vuorohiihdossa mitatusta VO_{2max} :stä ja se on myös Ruskon (2003, 20 - 23) mukaan yhteydessä hiihtosuorituskykyyn. Monahan (2016) havaitsi tutkimuksessaan tasatyönnössä mitatun VO_{2max} :n olleen naishiihtäjillä merkittävästi muita tekniikoita (mogren, wassberg, vuorohiihto, sauvakävely) alhaisempi, kun taas miehillä vastaavanlaista eroa ei havaittu. Lisäksi Carlsson ym. (2015) havaitsivat tutkimuksessaan, että suhteellinen VO_{2max} kuvasi mieshiihtäjien kilpailusuoritusta perinteisen hiihtotavan 15 kilometrillä absoluuttista arvoa paremmin.

Anaerobisten ominaisuuksien testaaminen

Hiihtäen suoritettavassa anaerobisen suorituskyyyn testissä (Maximal Anaerobic Skiing Test, MAST) mitattu veren maksimilaktaattipitoisuus kertoo urheilijan anaerobisesta kapasiteetista ja submaksimaalisten nopeuksien veren laktaattipitoisuudet karkeasti sprintin taloudellisuudesta (Rusko 2003, 96 - 99). Mikkola ym. (2010) sprinttihiihtäjille tehdyssä tutkimuksessa MAST oli luotettava suorituskyyyn arvioinnissa. Parhaimmilla hiihtäjillä oli MAST -testissä suurin vauhti ja sen lisäksi rullahiihtäen 200 metrin radalla suoritettussa simuloitussa sprinttihiihtosuorituksessa korkeampi veren laktaattipitoisuus. Samassa tutkimuksessa paras sprinttihiihdon suorituskyyä arvioiva testi oli lopulta radalla suoritettu 2x2 km tasatyöntötesti rullahiihtäen. (Mikkola ym. 2010.) Maksimaalinen ja 1000 metrin tasatyöntötestit laboratoriossa rullahiihtäen osoittautuivat Stöggl ym. (2006) mukaan luotettaviksi sprinttihiihdon tasatyönnön suorituskyyyn arvioinnissa.

Hermo -lihasjärjestelmän suorituskyytestit

Myös voima - ja nopeusominaisuuksien testaaminen antaa tärkeää tietoa hiihtäjien suorituskyyvystä. Esimerkiksi kevennyshyppy ja penkkipunnerrus ovat tyypillisiä hiihtäjille suositeltavia räjähtävän voiman ja tehon testejä. (Rusko 2003, 96.) Ylävartalon lihaksiston maksimivoima ja lihasmassan määrä olivat yhteydessä Østerås ym. (2016) tutkimuksessa naishiihtäjien tasatyöntösuoritukseen ja yhdessä VO_{2max} :n kanssa koko hiihtosuoritukseen, koska pitkäkestoinen suoritus vaatii myös lihasten hyvää aerobista kapasiteettia. Samoin Ruskon (2003, 28 - 30) mukaan ylävartalon lihasten voima korreloi tasatyöntösuorituksen kanssa. Hiihtäjien voima on yleisesti hyvällä tasolla, mutta suoritusta rajoittavana tekijänä on

usein kyky ylläpitää voimaa pitkäkestoisen suorituksen ajan ja suorituksen aikainen mahdollisimman nopean voiman tuottaminen. (Rusko 2003, 28 - 30).

Nopeusominaisuudet olivat aerobiseen kapasiteettiin verrattuna tärkeämpiä sprinttihilhdon menestyksen kannalta Stöggl ym. (2007) tutkimuksessa. Kuitenkin koko sprinttisuorituksen kannalta tärkeää on myös suuri VO_{2max} yhdessä hermo -lihasjärjestelmän maksimaalisen nopeuden tuottokyvyn kanssa. Tutkijoiden mukaan lyhyt maksimaalisen nopeuden testi on luotettava sprinttihilhtäjien suorituskvyn arvioinnissa. Ylävartalon hermo -lihasjärjestelmän ominaisuudet olivat yhteydessä anaerobiseen kapasiteettiin ja siten tärkeässä asemassa Mikkola ym. (2010) mukaan luisteluhiihtäen suoritettussa sprinttihilhtosuorituksessa. Carlssonin (2015) tutkimuksessa polven ojennustesti, vertikaaliset hyppytestit sekä 20 ja 360 sekunnin tasatyöntöergometritestit olivat yhteydessä ainoastaan sprinttihilhtosuoritukseen, muttei normaalimatkojen hiihtosuoritukseen.

4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA HYPOTEESIT

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli kerätä tietoa Suomen A-maajoukkuehiihtäjien (n=18) testi- ja kilpailutuloksista kausien 2015 - 2016 ja 2016 - 2017 aikana. Testit toteutettiin kesä-, elo- ja syys- ja lokakuussa. Ne sisälsivät aerobisen ja anaerobisen kestävyys- ja voimatestien testit sekä voimatestit. Tavoitteena oli saada tietoa hiihtäjien testitulosten yhteydestä tulevan kauden kilpailutuloksiin. Eri testiosioiden hyödyllisyydestä saadaan arvokasta tietoa jatkoa ajatellen, sillä testitulosten perusteella harjoittelua pystytään ohjaamaan oikeaan suuntaan ja saadaan tietoa sen onnistumisesta.

Tutkimusongelmat ja hypoteesit

Ongelma 1: Ennustavatko suoran maksimaalisen hapenottokyvyn testin tulokset tulevan kauden kilpailumenestystä distanssi -eli normaalimatkoilla FIS -pisteitä apuna käyttäen?

Hypoteesi 1: Maksimaalisen hapenottokyvyn testin tulokset ovat yhteydessä tulevan kauden FIS -distanssipisteisiin.

Perustelut 1: FIS -distanssipisteet ovat yhteydessä maksimaalisen hapenottokyvyn testin tuloksiin ja ennustavat tulevan kauden kilpailumenestystä normaalimatkoilla (Losnegard ym. 2013, Mahood ym. 2001).

Ongelma 2: Ovatko FIS -sprinttipisteet yhteydessä anaerobisen testin ja voimatestien tuloksiin?

Hypoteesi 2: Anaerobisen testin ja voimatestien tulokset ovat yhteydessä tulevan kauden FIS -sprinttipisteisiin.

Perustelut 2: Sprinttihiihdossa anaerobisen energiantuoton osuus on noin 40 % (Sandbakk & Holmberg 2014) ja siinä vaaditaan erityisesti nopeus - ja voimaominaisuuksia (Losnegard ym. 2013). Mikkola ym. (2010) mukaan maksimaalinen anaerobinen hiihtotesti (MAST) on luotettava testi suorituskyvyn arvioinnissa sprinttihiihdossa.

Ongelma 3: Ovatko voimatestien tulokset yhteydessä suoran maksimaalisen hapenottokyvyn testin tuloksiin ja MAST -testin tuloksiin?

Hypoteesi 3: Voimaominaisuudet ovat vahvasti yhteydessä anaerobisen MAST -testin tuloksiin ja saattavat olla yhteydessä myös suoran maksimitestin tuloksiin.

Perustelut 3: Ylävartalon hermo -lihaskäytännön ominaisuudet olivat yhteydessä anaerobiseen kapasiteettiin Mikkola ym. (2010) tutkimuksessa ja Carlssonin (2015) tutkimuksessa polven ojennustesti, vertikaaliset hyppytestit sekä 20 ja 360 sekunnin tasatyöntöergometritestit olivat yhteydessä anaerobiseen suorituskäyttöön.

5 MENETELMÄT

5.1 Tutkittavat

Tutkimuksessa olivat mukana Suomen maastohiihtomaajoukkueen urheilijat (naiset n = 6 ja miehet n = 12). Tutkittavien kehonkoostumus, FIS -pisteet ja suoran VO_{2max} -testin maksimi-arvot on esitetty taulukossa 4. Ennen testejä tutkittavat täyttivät suostumuslomakkeen testitulosten käytöstä tutkimuksessa ja olivat tietoisia testien riskeistä.

TAULUKKO 4. Hiihtäjien kehonkoostumus, FIS -pisteet ja fysiologiset ominaisuudet.

	Miehet (n=12)	Naiset (n=6)
Ikä (v)	28,1 ± 3,5	29,9 ± 4,2
Pituus (cm)	182,3 ± 5,5	169,0 ± 4,9
Paino (kg)	79,0 ± 7,1	59,8 ± 3,4
BMI	23,7 ± 1,2	21,0 ± 1,6
Rasvaprosentti (%)	8,1 ± 1,8	16,8 ± 2,1
FIS -distanssipisteet 2016	44,6 ± 25,7	35,8 ± 31,9
FIS -sprinttipisteet 2016	67,4 ± 48,9	47,1 ± 16,2
FIS -distanssipisteet 2017	48,2 ± 40,4	34,5 ± 39,6
FIS -sprinttipisteet 2017	70,0 ± 40,3	55,5 ± 41,3
V _{max} (km/h)	22,8 ± 0,8	20,8 ± 0,8
VO _{2max} (ml/kg/min)	70,9 ± 4,0	63,5 ± 2,8
AnK (l/min)	4,9 ± 0,5	3,3 ± 0,1
AerK (l/min)	3,8 ± 0,4	2,6 ± 0,3

BMI = painoindeksi, V_{max} = suoran testin maksimivauhti, VO_{2max} = maksimaalinen hapenottokyky, AnAerK = anaerobinen kynnys, AerK = aerobinen kynnys.

5.2 Tutkimusasetelma

Mittaukset toteutettiin Kilpa - ja huippu -urheilun tutkimuskeskuksen (KIHU) testauslaboratoriossa kausina 2015 - 2016 ja 2016 - 2017 harjoituskaudella kesä-, elo- ja syys/lokakuussa. Rullahiihtotestit suoritettiin Kihun testauslaboratoriossa suurella juoksumatolla (2.7 x 3.5; Rodby RL3500E, Rodby Innovations, Vänge, Sweden).

Testit kestivät kunkin hiihtäjän osalta kaksi päivää. Urheilijoita ohjeistettiin saapumaan testeihin vähintään 30 minuuttia aikaisemmin alkuverryttelyn vuoksi. Jokainen urheilija täytti ennen ensimmäisiä testejä esitieto/suostumuslomakkeen ja heiltä mitattiin paino ja rasvaprosentti. Ensimmäinen testi oli tasatyöntäen suoritettu MAST (Maximal Anaerobic Skiing Test), jota ennen suoritettiin 15 minuutin verryttely rullahiihtäen. Testin jälkeen hiihtäjät

verryttelivät 5 minuuttia ennen ”Ollin” testiä. Testit kestivät yhteensä noin yhden tunnin. Poikkeuksena elokuussa 2016 ei tehty ”Ollin” testiä vaan lyhyt sauvajuoksutesti.

Rullahiihtotestien jälkeen urheilijat verryttelivät noin 30 minuuttia ennen voimatestejä. Voimatestit alkoivat hyppytesteillä, jotka sisälsivät kevennyshyppy kolmella yrityksellä ja reaktiivisuustestin kahdella yrityksellä. Seuraavana vuorossa oli jalkakyykky- ja penkkipunnerrustestit.

Toinen testipäivä alkoi paastoverinäytteenotolla noin 07.00 - 08.00. Aamupäivällä suoritettiin suora VO_{2max} testi wassberg-tekniikalla. Ennen testiä verryteltiin 15 minuutin ajan, johon sisältyi 2 lyhyttä kuokkapätkää tekniikkavideointia varten. Kaikki testit suoritettuaan hiihtäjät saivat henkilökohtaisen palautteen testaaajilta ja lääkäriltä.

Suorituskyvyn mittarina käytettiin kansainvälisen hiihtoliiton (International Ski Federation) FIS-pisteitä erikseen distanssi- ja sprinttimatkoilta.

5.3 Aineiston keräys ja analysointi

Kehonkoostumus. Kehonkoostumus mitattiin toisen testipäivän aamuna KIHU:n laboratoriossa InBody-laitteella (InBody 770, Biospace co. ltd. Korea). InBody -laitetta voidaan pitää luotettavana ja tarkkana kehonkoostumuksen arvioinnissa, mutta se edellyttää vakioitua olosuhteita ennen mittausta. DEXA:n (Dual X-ray Absometry) arvoihin verrattuna sen on osoitettu aliarvioivan rasvamassan ja yliarvioivan lihasmassan määrää (Sillanpää ym. 2014).

Aerobinen suorituskyky. Maksimaalinen hapenotto- ja keuhkokuorman testi suoritettiin toisena testauspäivänä testauslaboratorion matolla (2.7 x 3.5; Rodby RL3500E, Rodby Innovations, Väinge, Sweden) rullahiihtäen. Hengityskaasuanalysaattori kalibroitiin ennen jokaista testiä. Maton kulma pysyi muuttumattomana 3° asteessa ja vauhti nousi jokaisella kuormalla 1,5 km/h. Testi suoritettiin uupumukseen asti. Hengityskaasuja mitattiin Oxygen Mobile laitteella (Viasys Healthcare GmbH, Hoechberg, Germany) ja laktaattinäyte otettiin sormenpästä jokaisen kuorman lopussa. Jokaisessa testissä urheilijat käyttivät saman kokoista maskia kuin edellisillä testikerroilla. Myös sykettä (Suunto t6 Vantaa) mitattiin koko testin ajan. Hiihtäjät käyttivät jokaisella testikerralla samoja sauvoja, suksia ja rullia. Naisilla oli käytössä keltapyöräiset Startin rullasukset (Startex Oy, Hollola, Finland) ja miehillä Marwe Skating 61-0 rullasukset (Marwe Oy, Hyvinkää, Finland). Sauvat olivat omat tai testauslaboratoriosta lainatut. Suora hapenotto- ja keuhkokuormatesti on hyvin toistettava ja luotettava sekä maksimaalisen hapenoton että kynnysarvojen osalta. (Keskinen ym. 2007, 64 - 74.)

Anaerobinen suorituskyky. Hiihtäjät suorittivat ensimmäisenä testauspäivänä kaksi lyhyttä anaerobisen kapasiteetin testiä. MAST (Maximal anaerobic skiing test) suoritettiin tasatyöntötekniikalla KIHU:n matolla. Työaika oli jokaisella kuormalla 25 sekuntia ja palautus 90 sekuntia. Nopeus kasvoi jokaisella kuormalla ja laktaattinäyte otettiin kuormien lopussa. Toinen anaerobisen suorituskyvyn testi, ns. ”Ollin” testi suoritettiin myös tasatyöntötekniikalla. Testissä vauhti nousi 1 km/h 15 sekunnin välein ja testi kesti yleensä noin 1 - 2,5 minuuttia. Molemmat anaerobiset testit suoritettiin uupumukseen asti. Elokuussa 2016 ”Ollin testin” korvasi sauvajuoksumat testi, joka tehtiin sauvakävellen/sauvajuosten jyrkkään ylämäkeen kulman ja nopeuden noustessa minuutin välein. Tätä testiä ei kuitenkaan tässä tutkimuksessa huomioitu.

Voimatestit. Voimatestit suoritettiin ensimmäisenä testipäivänä. Ne sisälsivät kevennyshyppyn, reaktiivisen hyppelytestin, penkkipunnerruksen maksimin ja tehontuoton sekä jalkakyykyn tehontuoton. Kevennyshyppy suoritettiin kolme kertaa ja 30 sekunnin reaktiivisuustesti kahdesti. Molemmat hyppytestit suoritettiin voimalevyllä (Accupower, AMTI) ja niiden tallennukseen käytettiin USB-4716 -ohjelmaa (Kihu). Hyppyjen analysointiin käytettiin ANALYCE -ohjelmistoa. Vertikaalihyppyjen toistettavuuden on todettu olevan hyvä ja päiväkohtaisen vaihtelun vähäistä (Keskinen ym. 2007, 151 - 154). Penkkipunnerruksen teho suoritettiin jalat ylhäällä, ote hartian leveydellä ja kuormalla 50 % maksimista kahdesti 5 toistolla. Välissä oli 2 minuutin palautus. Jalkakyykyn teho testattiin kuormalla 60 % ja 100 % (vain kausi 2016 - 2017) kehonpainosta kahdesti 5 toiston sarjoilla ja 2 minuutin palautuksella. Suoritustekniikka vakioitiin ja kyykkösyvyys oli 90 asteen polvikulmassa. Tehontuotto mitattiin MuscleLab V7.18 (Ergotest Technology as, Norway) laitteella.

Kilpailutiedot. Suorituskykyä ja kilpailusuorituksia kuvaavat FIS -pisteet on otettu molempien kausien viimeiseltä mittauspisteeltä. FIS -pisteet on otettu erikseen distanssi- ja sprinttimatkoilta. Kauden 2015 - 2016 pisteet on otettu 27.4.2016 ja kauden 2016 - 2017 pisteet 23.3.2017. FIS -rankinglistalla maailman cupin kärkiihittäjällä on 0 pistettä ja hänen jälkeensä mitä pienemmät pisteet ovat, sitä parempi hiihtäjä on listauksissa. Kilpailuissa FIS -pisteet muodostuvat vertailusta ensimmäiseksi sijoittuneeseen hiihtäjään ja aikaeroon suhteessa häneen. (Fis-ski.com, 2017.)

Testitulokset. FIS -pisteiden korrelaatioon käytettiin jokaisen hiihtäjän kunkin kauden parasta testitulosta kuvaamaan fyysisiä ominaisuuksia. Kausien välisessä vertailussa käytettiin jokaisen hiihtäjän elokuun testien tuloksia. Suorassa testissä naisilla taloudellisuutta tarkasteltiin vauhdeilla 12,5 km/h ja 14 km/h ja miehillä vauhdeilla 14 km/h, 15,5 km/h ja 17 km/h.

5.4 Tilastolliset menetelmät

Tulokset analysoitiin Microsoft Office Excel 2010 - ohjelmalla ja IBM SPSS Statistics 20.0 ohjelmalla (IBM Corporation) ja niistä laskettiin keskiarvot (KA) ja keskihajonnat (SD). Aineiston normaalijakautuneisuus testattiin Shapiro - Wilkin -menetelmällä. Kausien väliset vaihtelut analysoitiin Wilcoxonin parittaisella t -testillä. Eri muuttujien väliset yhteydet testattiin Pearsonin korrelaatiokertoimien avulla ja nonparametriset muuttujat Spearmanin korrelaatiokertoimien avulla. Tilastollisen merkitsevyyden raja oli $p < 0,05$.

6 TULOKSET

6.1 Kausien 2015 - 2016 ja 2016 - 2017 väliset muutokset

Suora maksimaalinen hapenottokyvyn testi

Taulukossa 5 näkyvät hiihtäjien tulokset suorasta maksimaalisen hapenottokyvyn testistä elokuun 2015 ja 2016 testeistä. Naisten osalta kausien välinen ero oli tilastollisesti merkitsevää absoluuttisessa ($p = 0,020$, $p < 0,05$) ja suhteellisessa maksimaalisessa hapenottokyvyssä (VO_{2max}) ($p = 0,025$, $p < 0,05$) sekä maksimiventilaatiossa (VE_{max}) ($p = 0,038$, $p < 0,05$), jotka olivat kaikki tilastollisesti merkitsevästi alhaisempia kaudella 2016-2017 kauteen 2015-2016 verrattuna. Miehillä kausien välinen ero oli tilastollisesti merkitsevää absoluuttisessa ($p = 0,039$, $p < 0,05$) ja suhteellisessa hapenottokyvyssä (VO_{2max}) ($p = 0,024$, $p < 0,05$), jotka olivat tilastollisesti merkitsevästi alhaisempia kaudella 2016 - 2017 kauteen 2015 - 2016 verrattuna.

TAULUKKO 5. Hiihtäjien suoran hapenottokyvyn testin tulokset elokuulta 2015 ja 2016.

	Naiset 2015 elokuu	Naiset 2016 elokuu	Miehet 2015 elokuu	Miehet 2016 elokuu
Ikä (v)	29,9 ± 4,2	30,9 ± 4,3	28,1 ± 3,5	29,2 ± 3,5
Pituus (cm)	169,0 ± 4,9	169,0 ± 4,9	182,3 ± 5,5	182,3 ± 5,5
Paino (kg)	59,8 ± 3,4	59,4 ± 4,3	79,0 ± 7,1	79,1 ± 7,6
Rasvaprosentti (%)	16,8 ± 2,1	17,4 ± 2,3	8,1 ± 1,8	8,9 ± 1,9**
BMI (kg/m ²)	21,0 ± 1,6	20,8 ± 1,7	23,7 ± 1,2	23,8 ± 1,4
VO_{2max} (l/min)	3,78 ± 0,27	3,52 ± 0,21*	5,80 ± 0,44	5,49 ± 0,43*
VO_{2max} (ml/kg/min)	63,5 ± 2,8	59,3 ± 3,8*	71,7 ± 3,1	67,6 ± 4,8*
HR_{max}	192 ± 7	188 ± 5	191 ± 6	190 ± 6
V_{max} (km/h)	20,8 ± 0,8	20,9 ± 1,0	22,8 ± 0,8	22,8 ± 1,2
La_{max} (mmol/l)	11,2 ± 2,3	11,6 ± 2,3	12,5 ± 1,7	13,1 ± 2,2
VE_{max} (l/min)	138,4 ± 13,5	131,4 ± 13,5*	200,1 ± 21,9	196,4 ± 24,1
AnKV (km/h)	16,9 ± 0,8	16,5 ± 1,0	18,4 ± 0,8	18,1 ± 1,0
AerKV (km/h)	12,6 ± 1,1	12,5 ± 0,8	13,7 ± 0,9	13,9 ± 1,0

Tilastollisesti merkitsevä ero edelliseen kauteen * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$.

Taloudellisuus maksimaalisen hapenottokyvyn testissä

Taulukossa 6 on esitetty suoran maksimaalisen hapenottokyvyn testin taloudellisuutta kuvaavat muuttujat naisten ja miesten osalta elokuulta 2015 ja 2016. Naisilla kausien välillä tilastollisesti merkitsevä ero oli veren laktaattipitoisuudessa vauhdilla 14km/h (2La) ($p = 0,042$, $p < 0,05$), joka oli korkeampi jälkimmäisellä kaudella. Miehillä kausien välillä ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä eroja.

TAULUKKO 6. Taloudellisuuden muuttujat naisilla ja miehillä elokuulta 2015 ja 2016. 1 = 12km/h, 2 = 14km/h, 3 = 15,5km/h, 4 = 17km/h.

	Naiset 2015 elokuu	Naiset 2016 elokuu	Miehet 2015 elokuu	Miehet 2016 elokuu
1VO ₂ (l/min)	2,57 ± 0,14	2,55 ± 0,18	N/A	N/A
1VE (l/min)	64,2 ± 7,8	66,3 ± 8,2	N/A	N/A
1VO ₂ kg (ml/kg/min)	43,2 ± 1,5	43,0 ± 1,4	N/A	N/A
1RE (ml(kg/km)	207,2 ± 7,4	206,5 ± 6,9	N/A	N/A
1HR (bpm)	151 ± 11	149 ± 10	N/A	N/A
1La (mmol/l)	1,2 ± 0,4	1,4 ± 0,4	N/A	N/A
2VO ₂ (l/min)	2,82 ± 0,20	2,79 ± 0,21	3,83 ± 0,45	3,77 ± 0,42
2VE (l/min)	69,8 ± 5,6	74,2 ± 9,5	93,3 ± 12,0	94,9 ± 14,2
2VO ₂ kg (ml/kg/min)	47,4 ± 1,6	46,9 ± 1,0	48,4 ± 1,8	47,6 ± 1,5
2RE (ml(kg/km)	203,2 ± 6,7	201,0 ± 4,3	207,3 ± 7,8	204,1 ± 6,4
2HR (bpm)	161 ± 9	158 ± 10	149 ± 8	148 ± 13
2La (mmol/l)	1,5 ± 0,4	1,9 ± 0,6*	1,3 ± 0,3	1,6 ± 0,4
3VO ₂ (l/min)	N/A	N/A	4,19 ± 0,49	4,11 ± 0,48
3VE (l/min)	N/A	N/A	106,3 ± 15,2	107,2 ± 18,0
3VO ₂ kg (ml/kg/min)	N/A	N/A	52,9 ± 1,8	51,9 ± 2,1
3RE (ml(kg/km)	N/A	N/A	205,0 ± 6,7	200,8 ± 8,1
3HR (bpm)	N/A	N/A	159 ± 8	158 ± 12
3La (mmol/l)	N/A	N/A	1,7 ± 0,3	2,0 ± 0,5
4VO ₂ (l/min)	N/A	N/A	4,53 ± 0,57	4,39 ± 0,48
4VE (l/min)	N/A	N/A	117,6 ± 19,5	121,2 ± 21,0
4VO ₂ kg (ml/kg/min)	N/A	N/A	57,2 ± 2,5	55,5 ± 2,3
4RE(ml(kg/km)	N/A	N/A	201,8 ± 8,8	196,0 ± 8,0

Tilastollisesti merkitsevä ero edelliseen kauteen * $p < 0,05$.

Anaerobinen suorituskyky ja voimatestit

Taulukossa 7 näkyvät anaerobisen suorituskyvyn testien MAST:n ja ”Olli”-n (vain 2015) sekä voimatestien tulokset. Naisilla kausien väliltä löytyi tilastollisesti merkitsevä ero MAST:n maksiminopeudessa ($p = 0,050$), joka oli jälkimmäisellä kaudella suurempi ja tilastollisesti hyvin merkitsevä ero MAST:n maksimilaktaatissa ($p = 0,008$, $p < 0,01$), joka oli jälkimmäisellä kaudella korkeampi. Miehillä tilastollisesti hyvin merkitsevä ero kausien välillä oli penkkipunnerruksen maksimituloksessa ($p = 0,002$, $p < 0,01$), joka jälkimmäisellä kaudella oli korkeampi.

TAULUKKO 7. MAST -testin, ”Olli”-n testin ja voimatestien tulokset naisilla ja miehillä elokuulta 2015 ja 2016. Olli:n testi suoritettiin vain elokuussa 2015.

	Naiset 2015	Naiset 2016	Miehet 2015	Miehet 2016
MAST V_{\max} (km/h)	25,8 ± 1,3	26,5 ± 0,8*	31,5 ± 1,4	32,2 ± 1,5
MAST La_{\max} (mmol/l)	6,9 ± 1,3	8,4 ± 0,7**	8,8 ± 1,6	8,9 ± 1,6
Nopeus 7 mmol/l tasolla(km/h)	26,5 ± 0,9	26,7 ± 0,5	31,1 ± 1,1	31,7 ± 1,3
Nopeus 5 mmol/l tasolla (km/h)	25,2 ± 1,1	25,5 ± 0,5	30,0 ± 0,9	30,3 ± 1,1
Nopeus 3 mmol/l tasolla (km/h)	22,7 ± 0,9	22,8 ± 0,2	27,7 ± 0,9	27,4 ± 1,3
”Olli” V_{\max} (m/s)	22,9 ± 0,1	N/A	28,8 ± 0,7	N/A
La 1'	7,0 ± 1,4	N/A	9,5 ± 1,5	N/A
La 3'	7,8 ± 1,0	N/A	10,9 ± 1,6	N/A
Kevennyshyppy (cm)	35,8 ± 5,3	33,8 ± 8,1	38,7 ± 4,2	37,9 ± 3,8
Reaktiivisuustesti (W/kg)	51,0 ± 4,5	48,3 ± 3,9	52,1 ± 7,9	52,4 ± 6,8
Kyykkyteho (W)60%	378,9 ± 56,2	383,0 ± 48,3	601,5 ± 60,5	609,9 ± 87,0
Penkkipunnerrus max (kg)	60,8 ± 6,3	63,3 ± 5,8	93,8 ± 7,4	96,6 ± 7,4**
Penkkipunnerrus suhteessa kehon painoon	1,0 ± 0,1	1,0 ± 0,1	1,2 ± 0,1	1,2 ± 0,1
Penkkipunnerrus teho (W)	365,7 ± 54,8	366,7 ± 37,4	640,1 ± 105,0	663,1 ± 119,4
Penkkipunnerrus teho (W/kg)	6,2 ± 0,8	6,1 ± 0,5	8,1 ± 0,9	8,3 ± 1,0
Kyykkyteho (W/kg60%)	6,4 ± 0,6	6,5 ± 0,5	7,6 ± 0,6	7,7 ± 0,5
Kevennyshyppy 2 (cm)	37,4 ± 6,2	37,5 ± 6,9	41,9 ± 3,0	42,2 ± 3,1
Reaktiivisuustesti 2 (W/kg)	51,2 ± 5,8	49,9 ± 4,3	50,4 ± 4,8	50,9 ± 3,3

Tilastollisesti merkitsevä ero edelliseen kauteen * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$.

6.2 FIS -pisteiden yhteys testituloksiin

Naisten kaudet 2015-2016 ja 2016-2017.

Taulukossa 8 on esitetty naisten molempien kausien parhaiden testitulosten korrelaatiot FIS -pisteisiin sekä distanssi - että sprinttimatkoilta erikseen. Taulukosta puuttuvat testitulokset eivät korreloineet mihinkään FIS -pisteisiin. FIS -distanssipisteet ensimmäisellä kaudella (2016) korreloivat positiivisesti ventilaation vauhdilla 12,5 km/h ($r = 0,086$, $p = 0,028$) ja 14 km/h ($r = 0,863$, $p = 0,027$) sekä penkkipunnerruksen tehoon ($r = 0,865$, $p = 0,026$). Toisella kaudella (2017) FIS -distanssipisteet korreloivat negatiivisesti suoran testin maksiminopeuteen ($r = -0,878$, $p = 0,050$) ja positiivisesti veren laktaattipitoisuuteen vauhdilla 12,5 km/h ($r = 0,935$, $p = 0,006$) ja 14 km/h ($r = 0,977$, $p = 0,001$).

Ensimmäisellä kaudella FIS -sprinttipisteet eivät olleet yhteydessä mihinkään testitulokseen. Seuraavalla kaudella ne korreloivat negatiivisesti maksimaaliseen hapenottokykyyn ($r = -0,891$, $p = 0,042$), suoran testin maksiminopeuteen ($r = -0,916$, $p = 0,029$) ja anaerobisen kynnyksen nopeuteen ($r = -0,856$, $p = 0,030$). Positiivinen korrelaatio löytyi veren laktaattipitoisuuteen vauhdeilla 12,5 km/h ($r = 0,855$, $p = 0,030$) ja 14 km/h ($r = 0,931$, $p = 0,007$).

TAULUKKO 8. Naisten FIS -distanssi ja -sprinttipisteiden korrelaatiot testituloksiin kauden 2015-2016 (2016) ja 2016-2017 (2017) osilta. Taloudellisuusmuuttujissa 1 = vauhti 12,5 km/h ja 2 = vauhti 14 km/h. = NS, No Significant (Ei tilastollista merkitsevyyttä)

		FISdist.2016	FISsprint.2016	FISdist.2017	FISsprint.2017
VO _{2max} (ml/kg/min)	r	NS	NS	NS	-0,891
	p				0,042*
V _{max} (km/h)	r	NS	NS	-0,878	-0,916
	p			0,050 *	0,029*
AnKV (km/h)	r	NS	NS	NS	-0,856
	p				0,030*
1VE (l/min)	r	0,86	NS	NS	NS
	p	0,028*			
1La (mmol/l)	r	NS	NS	0,935	0,855
	p			0,006***	0,030 *
2VE (l/min)	r	0,863	NS	NS	NS
	p	0,027*			
2La (mmol/l)	r	NS	NS	0,977	0,931
	p			0,001***	0,007**
La 1'	r	NS	NS	0,904	0,82
	p			0,013*	0,046*

Taulukko 8 jatkuu edelliseltä sivulta

La 3'	r	NS	NS	0,868	NS
	p			0,025*	
Penkkipunnerrus teho (W)	r	0,865	NS	NS	NS
	p	0,026*			

Tilastollisesti merkitsevä korrelaatio * $<0,05$, ** $<0,01$, *** $<0,001$.

Miesten kaudet 2015-2016 ja 2016-2017.

Taulukossa 9 on esitetty miesten osalta molempien kausien FIS -pisteiden korrelaatiot kauden parhaisiin testituloksiin. Ne testitulokset, jotka eivät korreloineet mihinkään FIS -pisteisiin puuttuvat taulukosta. Kaudella 2015-2016 (2016) FIS -distanssipisteet olivat positiivisesti yhteydessä taloudellisuus muuttujiin vauhdilla 14 km/h; VO₂ (r = 0,673, p = 0,016), VE (r = 0,707, p = 0,010), HR (r = 0,654, p = 0,021), 15,5 km/h; VO₂ (r = 0,653, p = 0,021), VE (r = 0,683, p = 0,014), HR (r = 0,665, p = 0,018) sekä 17 km/h; VO₂ (r = 0,624, p = 0,030), VE (r = 0,807, p = 0,002), HR (r = 0,686, p = 0,014) ja La (r = 0,593, p = 0,042). Negatiivinen korrelaatio löytyi suoran testin maksiminopeuteen (r = -0,870, p = 0,042), joka myös voidaan havaita kuvasta 9 ja aerobisen kynnyksen nopeuteen (r = -0,637, p = 0,026).

Toisella kaudella (2017) FIS -distanssipisteet korreloivat positiivisesti taloudellisuus muuttujiin vauhdilla 14 km/h; VO₂ (r = 0,716, p = 0,009), VE (r = 0,794, p = 0,002), 15,5 km/h; VO₂ (r = 0,651, p = 0,022), VE (r = 0,862, p = 0,000), La (r = 0,793, p = 0,002) sekä 17 km/h; VO₂ (r = 0,679, p = 0,015), VE (r = 0,869, p = 0,000) ja La (r = 0,803, p = 0,002). Distanssipisteet korreloivat negatiivisesti suoran testin maksimivauhtiin (r = -0,752, p = 0,005), anaerobisen kynnyksen vauhtiin (r = -0,600, p = 0,039) sekä aerobisen kynnyksen vauhtiin (r = -0,792, p = 0,002).

Ensimmäisellä kaudella FIS -sprinttipisteet olivat positiivisesti yhteydessä suoran testin maksiminopeuteen (r = 0,628, p = 0,029) ja negatiivisesti yhteydessä veren laktaattipitoisuuteen vauhdilla 17km/h (r = -0,608, p = 0,036) ja ”Olli”:n testin jälkeisiin laktaattipitoisuuksiin 1 minuutin (-0,688, p = 0,013) ja 3 minuutin (r = -0,762, p = 0,004) kohdilla. Toisella kaudella ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita FIS -sprinttipisteiden ja testitulosten välillä.

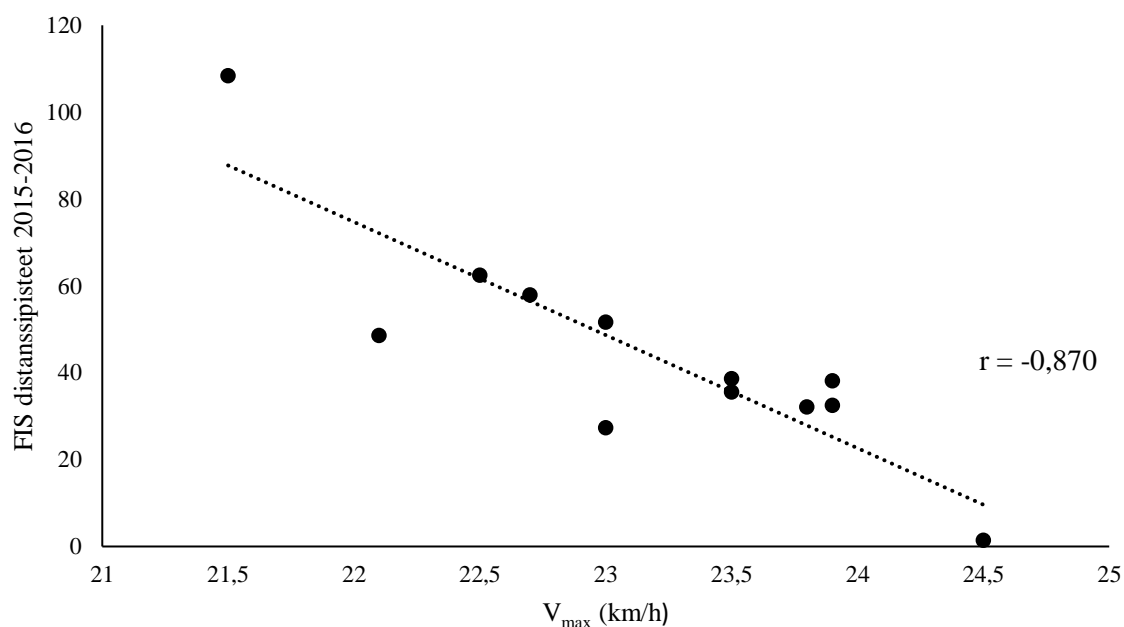
TAULUKKO 9. Miesten FIS -distanssi- ja FIS -sprinttipisteiden korrelaatiot testituloksiin kauden 2015 - 2016 (2016) ja 2016 - 2017 (2017) osilta. Taloudellisuusmuuttujissa 2 = vauhti 14km/h, 3 = vauhti 15,5km/h ja 4 = vauhti 17km/h. NS, No Significant (Ei tilastollista merkitsevyyttä)

		FISdist.2016	FISsprint.2016	FISdist.2017	FISsprint.2017
Paino (kg)	r	0,709	NS	0,726	NS
	p	0,010**		0,008**	
BMI (kg/m ²)	r	0,817	NS	0,782	NS
	p	0,001***		0,003**	
V _{max} (km/h)	r	-0,87	0,628	-0,752	NS
	p	0,000***	0,029*	0,005**	
AnKV (km/h)	r	NS	NS	-0,6	NS
	p			0,039*	
AerKV (km/h)	r	-0,637	NS	-0,792	NS
	p	0,026*		0,002**	
2VO ₂ (l/min)	r	0,673	NS	0,716	NS
	p	0,016**		0,009**	
2VE (l/min)	r	0,707	NS	0,794	NS
	p	0,010**		0,002**	
2HR (bpm)	r	0,654	NS	NS	NS
	p	0,021**			
3VO ₂ (l/min)	r	0,653	NS	0,651	NS
	p	0,021*		0,022*	
3VE (l/min)	r	0,683	NS	0,862	NS
	p	0,014*		0,000***	
3HR (bpm)	r	0,665	NS	NS	NS
	p	0,018*			
3La (mmol/l)	r	NS	NS	0,793	NS
	p			0,002**	
4VO ₂ (l/min)	r	0,624	NS	0,679	NS
	p	0,030*		0,015*	
4VE (l/min)	r	0,807	NS	0,869	NS
	p	0,002**		0,000***	
4HR (bpm)	r	0,686	NS	NS	NS
	p	0,014*			
4La (mmol/l)	r	0,593	-0,608	0,803	NS
	p	0,042*	0,036*	0,002**	
MAST V _{max} (km/h)	r	0,742	NS	0,577	NS
	p	0,006**		0,049*	
Nopeus 7 mmol/l tasolla (km/h)	r	0,795	NS	NS	NS
	p	0,003**			
Nopeus 5 mmol/l tasolla (km/h)	r	0,681	NS	NS	NS
	p	0,015*			

Taulukko 9 jatkuu edelliseltä sivulta

”Olli” V _{max} (m/s)	r	0,674	NS	0,632	NS
	p	0,016*		0,050*	
La 1'	r	NS	-0,688	NS	NS
	p		0,013*		
La 3'	r	NS	-0,762	NS	NS
	p		0,004**		
Kyykkyteho (W)60%	r	0,795	NS	0,689	NS
	p	0,003**		0,019*	
Penkkipunnerrus max (kg)	r	NS	NS	0,735	NS
	p			0,015*	
Penkkipunnerrus/kehon paino	r	NS	NS	NS	0,773
	p				0,009**
Penkkipunnerrus teho (W)	r	0,681	NS	0,834	NS
	p	0,015*		0,001***	
Kyykkyteho (W)100%	r	NS	NS	0,793	-0,701
	p			0,004**	0,016*

Tilastollisesti merkitsevä korrelaatio *<0,05, **<0,01, ***<0,001.



KUVA 9. Miesten FIS -distanssipisteiden ja suoran testin maksimivauhdin (V_{max}) korrelaatio kaudella 2015 - 2016.

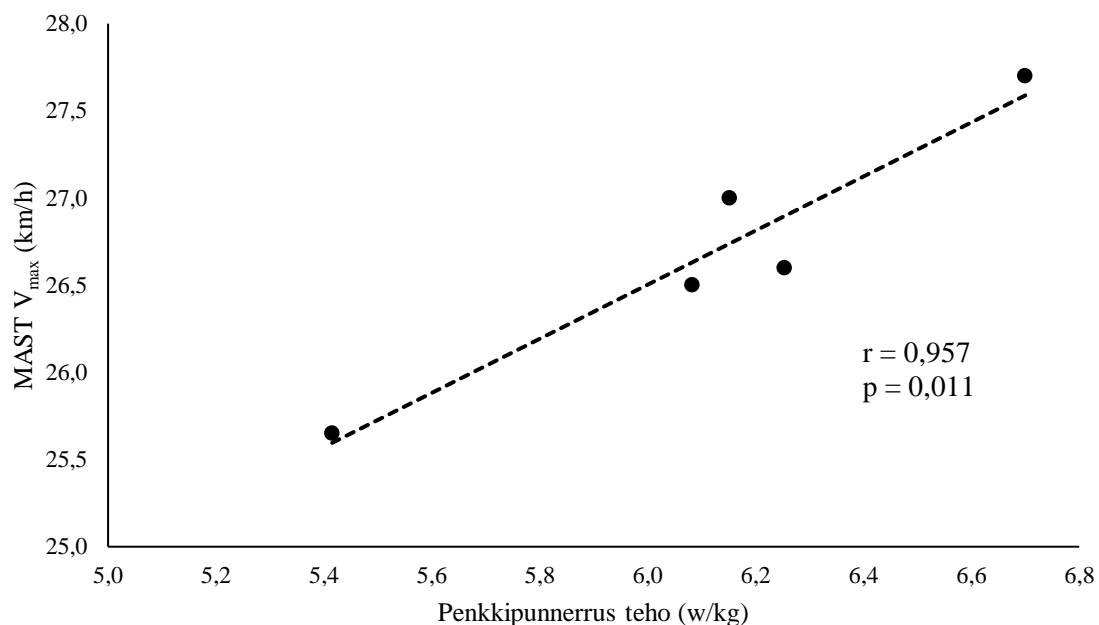
6.3 Testitulosten väliset yhteydet

Naisten ja miesten testitulosten välisiä yhteyksiä tarkasteltiin elokuun 2015 ja 2016 testeissä.

Naisten elokuun testitulosten yhteydet

Elokuussa 2015 ”Olli”-n testin maksiminopeus korreloi positiivisesti MAST:n maksiminopeuden ($r = 0,904$, $p = 0,013$), MAST:n maksimilaktaatin ($r = 0,845$, $p = 0,034$) sekä MAST:n nopeuden 5 mmol/l tasolla ($r = 0,864$, $p = 0,026$) kanssa. Lisäksi positiivinen korrelaatio oli 60% (w/kg) kyykkytehon ja reaktiivisuus testin ($r = 0,894$, $p = 0,041$) välillä.

Elokuun 2016 testeissä 100% kyykkyteho (W) korreloi positiivisesti maksimaalisen hapenottokyvyn absoluuttisen arvon ($r = 0,958$, $p = 0,042$) sekä maksimiventilaation ($r = 0,985$, $p = 0,015$) kanssa. Negatiivinen korrelaatio 100% kyykkytehoon (W) oli 12,5 km/h vauhdin VO₂ (ml/kg/min) ($r = -0,958$, $p = 0,042$) ja RE (ml/kg/km) ($r = -0,959$, $p = 0,041$) kanssa. Positiiviset korrelaatiot 100% kyykkytehoon (w/kg) löytyivät maksimaalisen hapenottokyvyn absoluuttisen arvon ($r = 0,998$, $p = 0,002$) ja maksimiventilaation ($r = 0,966$, $p = 0,034$) kanssa. Negatiivinen korrelaatio 100% kyykkytehoon (W/kg) oli 12,5 km/h vauhdin VO₂ (ml/kg/min) ($r = -1,000$, $p = 0,000$) ja RE (ml/kg/km) ($r = -0,998$, $p = 0,002$) kanssa. MAST:n maksimivauhti korreloi positiivisesti kevennyshyppyyn ($r = 0,938$, $p = 0,019$) ja penkkipunnerruksen tehoon (w/kg) ($r = 0,957$, $p = 0,011$), kuten kuva 10 osoittaa.



KUVA 10. Elokuussa 2016 naisten MAST -testin maksimivauhdin korrelaatio penkkipunnerruksen tehon (w/kg) kanssa.

Miesten testitulosten yhteydet elokuussa 2015 ja 2016

Elokuussa 2015 aerobisen kynnyksen nopeus korreloi positiivisesti painokiloon suhteutetun penkkipunnerruksen kanssa ($r = 0,607$, $p = 0,047$). MAST:n maksiminopeuden kanssa

positiivisesti korreloivat ”Olli”n maksiminopeus ($r = 0,801, p = 0,002$), ”Olli”n jälkeiset veren laktaattipitoisuudet eli laktaatti’1 ($r = 0,636, p = 0,026$) ja laktaatti’3 ($r = 0,619, p = 0,032$) sekä penkkipunnerruksen teho ($r = 0,588, p = 0,044$). MAST:n veren maksimilaktaattipitoisuus korreloi positiivisesti ”Olli”n jälkeisiin laktaattipitoisuuksiin eli laktaatti’1 ($r = 0,861, p = 0,000$) ja laktaatti’3 ($r = 0,863, p = 0,000$) kanssa. ”Olli”n maksiminopeus korreloi positiivisesti MAST:n nopeuksiin 7 mmol/l ($r = 0,796, p = 0,003$) ja 5 mmol/l ($r = 0,636, p = 0,026$) tasoilla. Lisäksi 60% kyykkyteho korreloi positiivisesti 3 minuutin ”Olli”n testin jälkeiseen veren laktaattipitoisuuteen ($r = 0,692, p = 0,018$).

Elokuussa 2016 anaerobisen kynnyksen nopeus korreloi positiivisesti MAST-testin nopeuteen 3 mmol/l laktaattitasolla ($r = 0,785, p = 0,003$). Aerobisen kynnyksen nopeus korreloi positiivisesti MAST-testin nopeuteen 5 mmol/l ($r = 0,632, p = 0,028$) ja 3 mmol/l ($r = 0,705, p = 0,010$) laktaattitasoilla. MAST-testin maksimilaktaattipitoisuus korreloi positiivisesti penkkipunnerruksen maksimiin ($r = 0,690, p = 0,004$) ja tehoon ($r = 0,609, p = 0,036$). MAST-testin nopeus 3 mmol/l laktaattitasolla korreloi positiivisesti kehonpainoon suhteutettuun penkkipunnerrukseen ($r = 0,693, p = 0,038$). Penkkipunnerruksen teho korreloi positiivisesti 60% ($r = 0,737, p = 0,015$) ja 100% ($r = 0,838, p = 0,005$) kyykkytehojen kanssa.

6.4 Muutosprosentit ja korrelaatiot FIS -pisteisiin

Taulukossa 10 näkyvät FIS -pisteiden, kehonkoostumuksen sekä kaikkien testien muutosprosentit kausien 2015-2016 ja 2016-2017 välillä.

TAULUKKO 10. FIS -pisteiden, kehonkoostumuksen sekä testitulosten muutokset kaudesta 2015 - 2016 kauteen 2016 - 2017. Taloudellisuuden muuttujat naisilla ja miehillä elokuulta 2015 ja 2016. 1 = 12 km/h, 2 = 14 km/h, 3 = 15,5 km/h, 4 = 17 km/h.

	Naiset muutos%	Miehet muutos %
FIS -distanssipisteet	-12,0 ± 41,1	-0,6 ± 62,2
FIS -sprinttipisteet	18,9 ± 83,5	35,5 ± 91,8
Paino (kg)	-0,7 ± 2,6	0,2 ± 1,3
Rasvaprocentti (%)	2,4 ± 6,2	6,2 ± 11,4
BMI (kg/m ²)	-0,7 ± 2,6	0,2 ± 1,3
VO _{2max} (l/min)	-7,4 ± 2,9	-5,0 ± 2,6
VO _{2max} (ml/kg/min)	-7,2 ± 3,0	-5,4 ± 2,5
HR _{max} (bpm)	-0,9 ± 2,7	-0,4 ± 1,9
V _{max} (km/h)	0,3 ± 1,1	-0,3 ± 2,4
La _{max} (mmol/l)	5,4 ± 16,9	1,9 ± 12,3
VE _{max} (l/min)	-5,3 ± 3,6	-2,4 ± 5,9
AnKV (km/h)	-3,1 ± 5,5	0,2 ± 3,1

Taulukko10 jatkuu edelliseltä sivulta

AerKV (km/h)	0,3 ± 8,3	0,4 ± 3,4
1VO ₂ (l/min)	5,0 ± 8,7	0,2 ± 4,5
1VE (l/min)	8,2 ± 8,3	5,8 ± 8,2
1VO ₂ kg (ml/kg/min)	2,3 ± 5,6	-0,01 ± 4,5
1RE (ml(kg/km)	2,3 ± 5,6	-0,02 ± 4,4
1HR (bpm)	-0,6 ± 5,7	1,2 ± 3,2
1La (mmol/l)	22,1 ± 35,1	3,0 ± 23,3
2VO ₂ (l/min)	4,8 ± 9,6	-1,0 ± 2,7
2VE (l/min)	9,3 ± 10,6	0,1 ± 6,4
2VO ₂ kg (ml/kg/min)	2,2 ± 5,0	-1,2 ± 3,0
2RE (ml(kg/km)	2,1 ± 4,7	-1,1 ± 3,0
2HR (bpm)	0,3 ± 4,7	0,5 ± 4,3
2La (mmol/l)	33,3 ± 38,4	5,7 ± 23,2
3VO ₂ (l/min)	N/A	-1,9 ± 3,4
3VE (l/min)	N/A	1,9 ± 6,6
3VO ₂ kg (ml/kg/min)	N/A	-2,1 ± 3,5
3RE (ml(kg/km)	N/A	-2,1 ± 3,6
3HR (bpm)	N/A	-0,0 ± 3,7
3La (mmol/l)	N/A	5,0 ± 18,3
4VO ₂ (l/min)	N/A	-2,3 ± 3,6
4VE (l/min)	N/A	2,5 ± 5,8
4VO ₂ kg (ml/kg/min)	N/A	-2,4 ± 4,1
4RE (ml(kg/km)	N/A	-2,4 ± 4,1
4HR (bpm)	N/A	0,4 ± 2,7
4La (mmol/l)	N/A	7,5 ± 17,1
MAST V _{max} (km/h)	-0,8 ± 2,7	1,0 ± 3,6
MAST La _{max} (mmol/l)	2,0 ± 25,8	1,8 ± 18,0
Nopeus 7 mmol/l tasolla(km/h)	-2,1 ± 1,9	0,4 ± 3,2
Nopeus 5 mmol/l tasolla (km/h)	-0,0 ± 3,1	-0,2 ± 2,9
Nopeus 3 mmol/l tasolla (km/h)	-2,5 ± 4,2	-2,1 ± 3,7
OLLI V _{max} (m/s)	-0,7 ± 1,4	-0,3 ± 2,5
La 1'	-2,1 ± 14,7	-0,4 ± 16,3
La 3'	-88,8 ± 41,0	30,2 ± 142,0
Kevennyshyppy (cm)	-3,0 ± 5,1	0,3 ± 5,8
Reaktiivisuustesti (W/kg)	1,7 ± 6,2	2,3 ± 8,8
Kyykkyteho (W)60%	5,2 ± 10,4	0,2 ± 6,3
Penkkipunnerrus max (kg)	2,9 ± 3,8	1,4 ± 3,1
Penkkipunnerrus suhteessa kehon painoon	1,8 ± 4,4	-0,1 ± 3,5
Penkkipunnerrus teho (W)	-1,1 ± 8,0	2,9 ± 6,1
Penkkipunnerrus teho (W/kg)	-1,0 ± 8,4	1,8 ± 6,3
Kyykkyteho (W/kg60%)	2,7 ± 10,1	2,7 ± 7,7
Kevennyshyppy 2 (cm)	-0,2 ± 4,1	0,9 ± 3,8
Reaktiivisuustesti 2 (W/kg)	2,6 ± 6,2	-0,5 ± 7,1

Testitulosten muutoksien korrelaatiot FIS -pisteiden muutoksiin

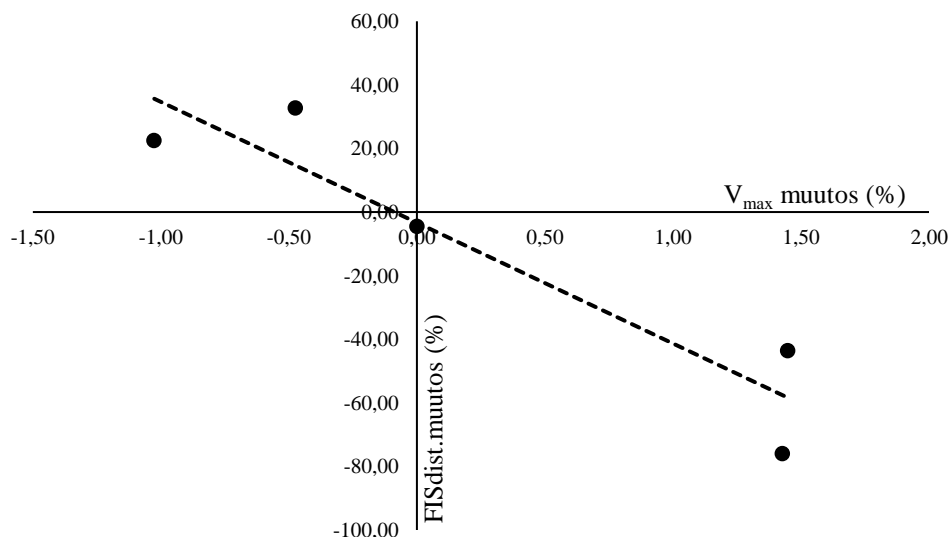
Taulukossa 11 näkyvät miesten ja naisten FIS -distanssi- ja -sprinttipisteiden muutoksien korrelaatiot kehonkoostumuksen ja eri testitulosten muutoksiin. Taulukosta puuttuvat testitulokset eivät korreloineet tilastollisesti merkitsevästi kumpiinkaan FIS -pisteiden muutoksiin. Naisten FIS -distanssipisteiden muutos oli negatiivisesti yhteydessä suoran testin maksiminopeuden muutokseen ($r = -0,934$, $p = 0,020$), kuten myös kuva 11 osoittaa. FIS -sprinttipisteiden muutos oli negatiivisesti yhteydessä anaerobisen kynnyksen nopeuden muutokseen ($r = -0,829$, $p = 0,042$).

Miesten FIS -distanssipisteiden muutos oli negatiivisesti yhteydessä penkki-punnerruksen maksimin muutokseen ($r = -0,636$, $p = 0,048$). Miesten FIS -sprinttipisteiden muutos oli negatiivisesti yhteydessä maksimiventilaation (VE_{max}) ($r = -0,629$, $p = 0,028$), kevennyshypyn nousukorkeuden ($r = -0,708$, $p = 0,015$) ja reaktiivisuustestin ($r = -0,657$, $p = 0,020$) muutoksiin. Positiivinen yhteys löytyi veren laktaattipitoisuuden muutokseen vauhdilla 17 km/h (4La) ($r = 0,641$, $p = 0,025$).

TAULUKKO 11. Miesten ja naisten FIS -distanssi- ja -sprinttipisteiden muutoksien korrelaatiot kehonkoostumuksen ja testitulosten muutoksiin. Ei tilastollista merkitsevyyttä = NS (No Significant)

		FISdist.N	FISsprint.N	FISdist.M	FISsprint.M
V _{max} (km/h)	r	-0,934	NS	NS	NS
	p	0,020*			
VE _{max} (l/min)	r	NS	NS	NS	-0,629
	p				0,028*
AnKV (km/h)	r	NS	-0,829	NS	NS
	p		0,042*		
4La (mmol/l)	r	NS	NS	NS	0,641
	p				0,025*
Kevennyshyppy (cm)	r	NS	NS	NS	-0,708
	p				0,015*
Penkki-punnerrus maksimi (kg)	r	NS	NS	-0,636	NS
	p			0,048*	
Reaktiivisuustesti (W/kg)	r	NS	NS	NS	-0,657
	p				0,020*

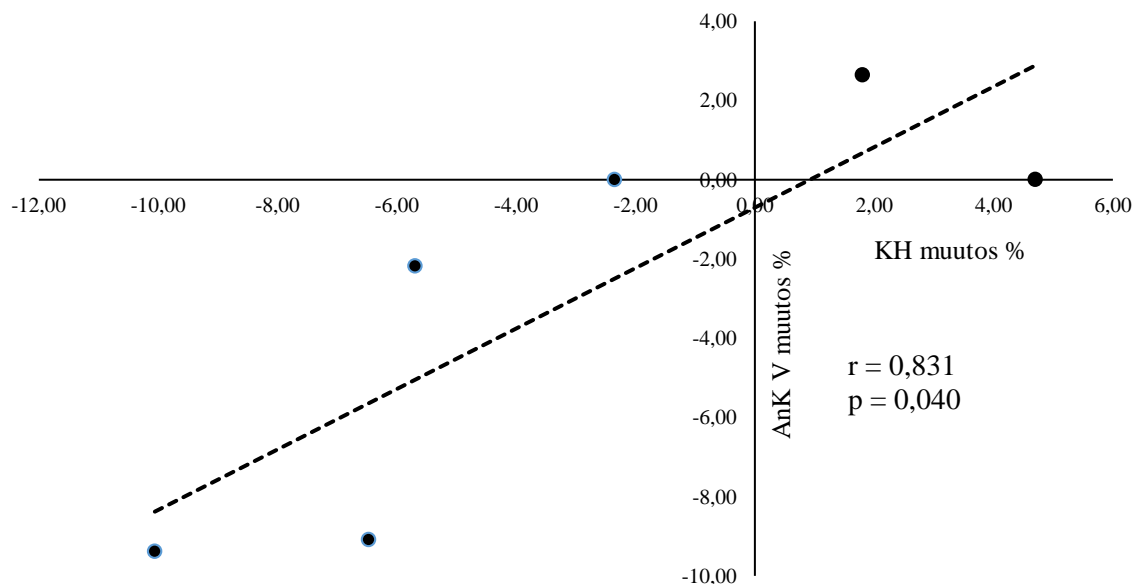
Tilastollisesti merkitsevä korrelaatio * $<0,05$, ** $<0,01$.



KUVA 11. Naisten FIS -distanssipisteiden muutoksen ja suoran testin maksiminopeuden (V_{\max}) muutoksen korrelaatiot kausien 2015 - 2016 ja 2016 - 2017 välillä.

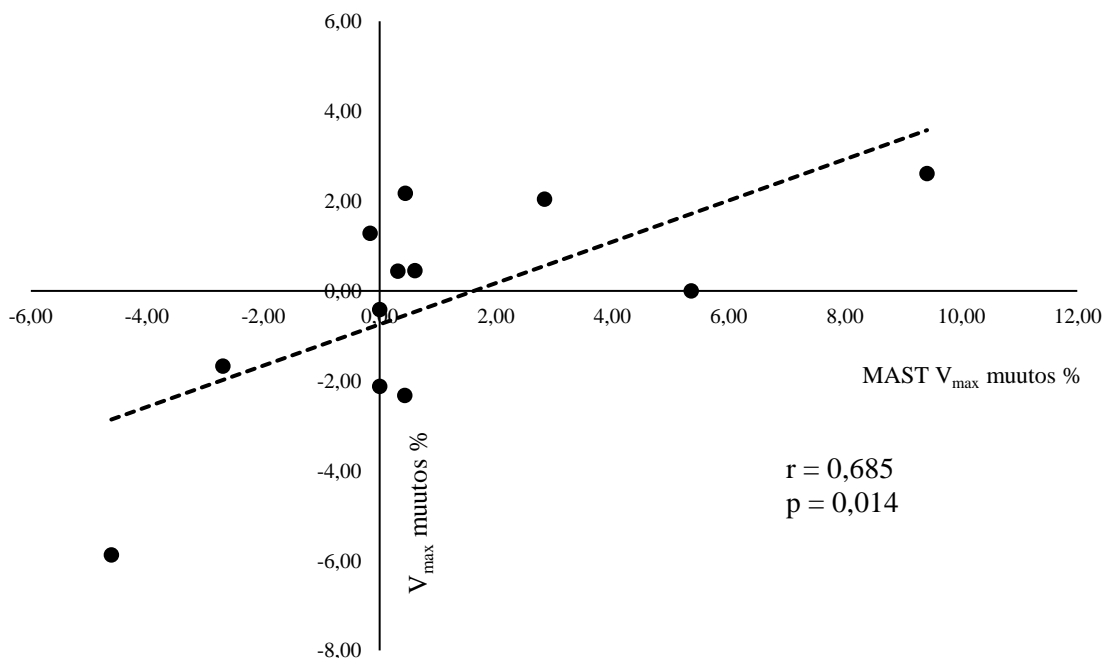
6.5 Testitulosten väliset muutoskorrelaatiot

Naiset. Naisilla kevennyshypyn muutos oli positiivisesti yhteydessä suoran testin maksimilaktaatin muutokseen ($r = 0,990$, $p = 0,001$), maksimiventilaation muutokseen ($r = 0,986$, $p = 0,002$) ja anaerobisen kynnyksen nopeuden muutokseen ($r = 0,831$, $p = 0,040$), mikä näkyy myös kuvassa 12. Maksimilaktaatin muutos suorassa testissä oli positiivisesti yhteydessä 1 minuutin ”Olli”:n jälkeisen veren laktaattipitoisuuden muutokseen ($r = 0,903$, $p = 0,035$). Ventilaation muutos vauhdilla 14 km/h suorassa testissä oli negatiivisesti yhteydessä MAST:n vauhdin muutokseen 5 mmol/l laktaattitasolla ($r = -0,830$, $p = 0,041$). Veren laktaattipitoisuuden muutos vauhdilla 14 km/h oli negatiivisesti yhteydessä MAST:n vauhdin muutokseen 3 mmol/l laktaattitasolla ($r = -0,851$, $p = 0,032$).



KUVA 12. Naisten kevennyshypyn (KH) muutoksen korrelaatio anaerobisen kynnyksen vauhdin muutokseen.

Miehet. Miehillä suoran testin maksimivauhdin muutos oli positiivisesti yhteydessä MAST -testin maksiminopeuden muutokseen ($r = 0,685$, $p = 0,014$), kuten kuva 13 osoittaa. Suoran testin maksimivauhdin muutos oli positiivisesti yhteydessä myös MAST:n vauhdin muutokseen 7 mmol/l ($r = 0,785$, $p = 0,007$), 5mmol/l ($r = 0,691$, $p = 0,013$) ja 3 mmol/l ($r = 0,752$, $p = 0,005$) laktaattitasoilla. Suoran testin maksimilaktaatin muutos oli positiivisesti yhteydessä penkkipunnerruksen tehon muutokseen ($r = 0,810$, $p = 0,004$). Kevennyshypyn muutos oli positiivisesti yhteydessä maksimiventilaation muutokseen ($r = 0,615$, $p = 0,013$) ja negatiivisesti yhteydessä suoran testin vauhdin 14 km/h VO_2 :n (ml/kg/min) muutokseen ($r = -0,662$, $p = 0,019$) ja RE:n muutokseen ($r = -0,659$, $p = 0,020$) sekä vauhdin 17 km/h RE:n muutokseen ($r = -0,651$, $p = 0,022$).



KUVA 13. Miesten suoran testin maksiminopeuden (V_{\max}) muutoksen korrelaatio MAST -testin maksiminopeuden (MAST V_{\max}) muutokseen.

Miehillä MAST:n nopeuden muutos 3 mmol/l laktaattitasolla oli negatiivisesti yhteydessä suoran testin veren laktaattipitoisuuden muutoksiin vauhdeilla 14 km/h ($r = -0,698$, $p = 0,013$) ja 15,5 km/h ($r = -0,680$, $p = 0,015$). MAST:n nopeuden muutos 5 mmol/l tasolla oli negatiivisesti yhteydessä veren laktaattipitoisuuteen vauhdilla 15,5 km/h ($r = -0,588$, $p = 0,044$). Lisäksi reaktiivisuus testin muutos oli positiivisesti yhteydessä 60% kyykkytehon (w/kg) muutokseen ($r = 0,720$, $p = 0,044$).

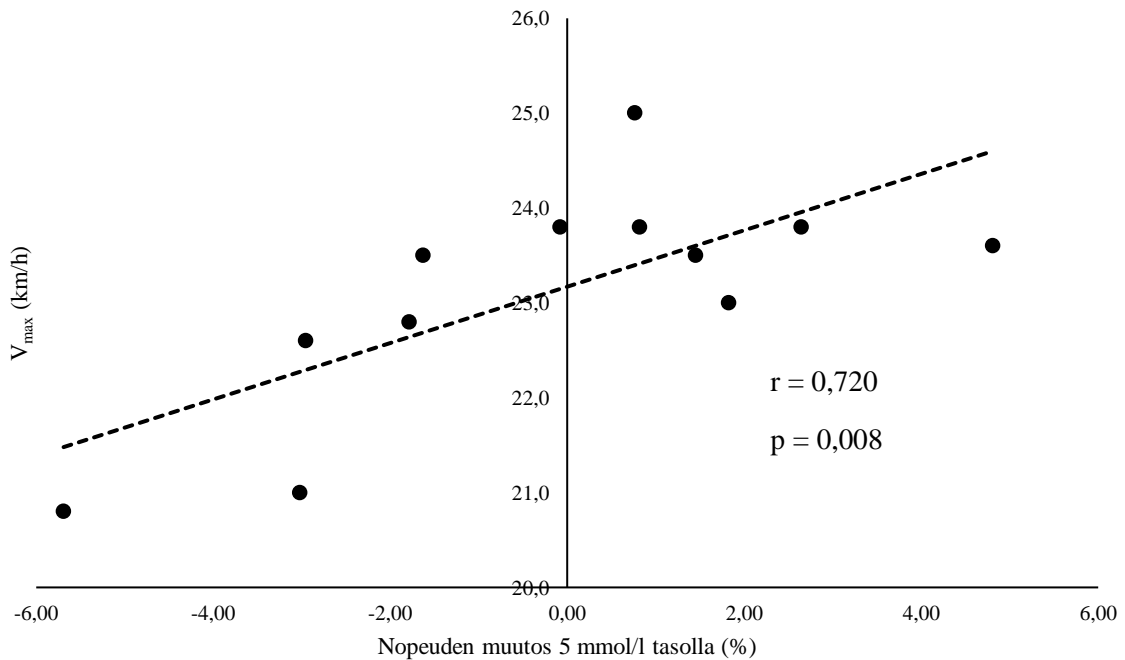
6.6 Kauden 2016 - 2017 testitulosten korrelaatio muutosprosentteihin

Vuoden aikana tapahtuneen muutoksen yhteyksiä jälkimmäisen vuoden testituloksiin tarkasteltiin vertaamalla testitulosten muutosprosentteja kauden 2016 - 2017 testituloksiin.

Naiset. Naisilla MAST -testin nopeuden muutos 5 mmol/l tasolla kaudesta 2015 - 2016 kauteen 2016 - 2017 oli negatiivisesti yhteydessä jälkimmäisen kauden suoran testin vauhdin 12,5 km/h VE:n ($r = -0,857$, $p = 0,029$), VO_2 :n (ml/kg/min) ($r = -0,849$, $p = 0,032$), RE:n ($r = -0,836$, $p = 0,038$) ja HR:n ($r = -0,836$, $p = 0,036$) sekä vauhdin 14 km/h VE:n ($r = -0,836$, $p = 0,027$), VO_2 :n (ml/kg/min) ($r = -0,969$, $p = 0,001$) ja RE:n ($r = -0,953$, $p = 0,003$). Kehonpainoon suhteutetun penkkipunnerruksen muutos ensimmäisestä kaudesta toiseen kauteen oli positiivisesti yhteydessä toisen kauden aerobisen kynnyksen nopeuteen ($r = 0,855$, $p = 0,030$).

Kyykkytehon (60%, w/kg) muutos oli negatiivisesti yhteydessä VO₂:n (l/min) vauhdilla 12,5 km/h ($r = -0,878$, $p = 0,050$) ja 14 km/h ($r = -0,891$, $p = 0,042$).

Miehet. Suoran testin maksiminopeus jälkimmäisellä kaudella oli positiivisesti yhteydessä MAST -testin vauhdin muutokseen 5 mmol/l ($r = 0,720$, $p = 0,008$) (kuva 15) ja 3 mmol/l ($r = 0,821$, $p = 0,001$) laktaattitasoilla sekä ”Olli”-n testin jälkeiseen veren laktaattipitoisuuden muutokseen 3 minuutin kohdalla ($r = 0,703$, $p = 0,023$).

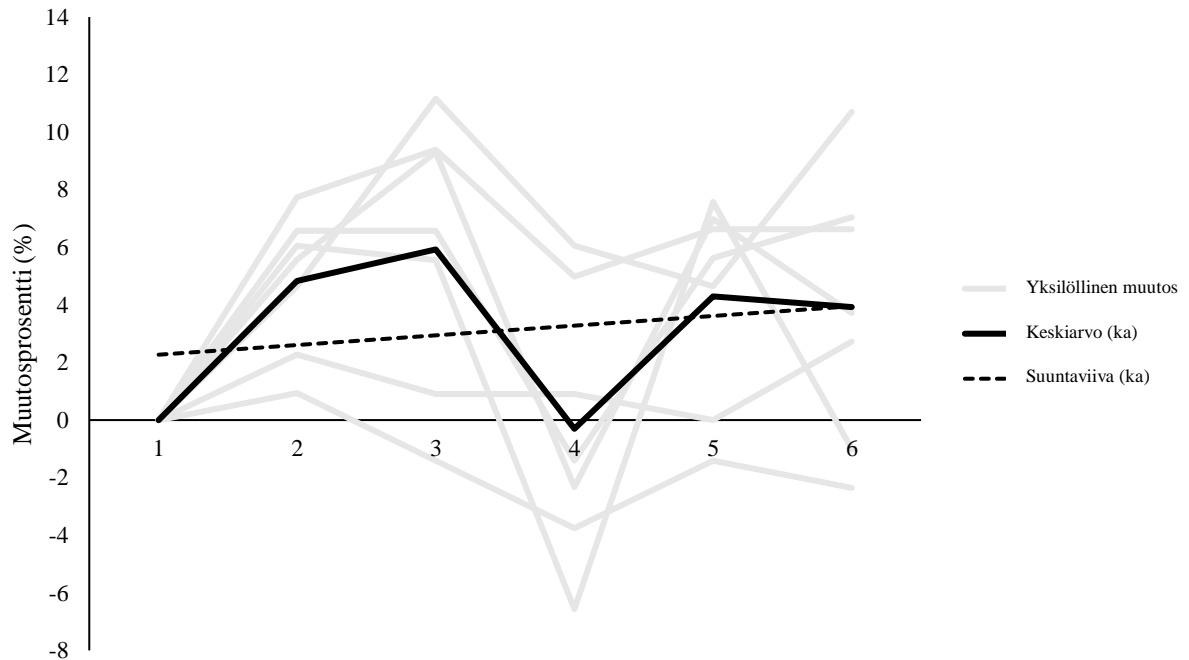


KUVA 15. Miesten kauden 2016 - 2017 suoran testin maksiminopeuden (V_{\max}) korrelaatio MAST -testin vauhdin muutokseen 5 mmol/l laktaattitasolla.

Miehillä toisen kauden anaerobisen kynnyksen nopeus oli positiivisesti yhteydessä MAST -testin vauhdin muutokseen 7 mmol/l ($r = 0,675$, $p = 0,032$), 5 mmol/l ($r = 0,816$, $p = 0,001$) ja 3 mmol/l ($r = 0,867$, $p < 0,001$) laktaattitasoilla. Aerobisen kynnyksen nopeus toisella kaudella oli positiivisesti yhteydessä MAST -testin vauhdin muutokseen 7 mmol/l ($r = 0,732$, $p = 0,016$), 5 mmol/l ($r = 0,770$, $p = 0,003$) ja 3 mmol/l ($r = 0,880$, $p < 0,001$) laktaattitasoilla. MAST -testin vauhdin muutos 5 mmol/l laktaattitasolla korreloi negatiivisesti jälkimmäisen kauden veren laktaattipitoisuuteen suorassa testissä vauhdeilla 14 km/h ($r = -0,646$, $p = 0,023$), 15,5 km/h ($r = -0,708$, $p = 0,010$) ja 17 km/h ($r = -0,674$, $p = 0,016$). MAST -testin vauhdin muutos 3 mmol/l laktaattitasolla korreloi negatiivisesti jälkimmäisen kauden veren laktaattipitoisuuteen suorassa testissä vauhdeilla 14 km/h ($r = -0,728$, $p = 0,007$), 15,5 km/h ($r = -0,782$, $p = 0,003$) ja 17 km/h ($r = -0,774$, $p = 0,003$).

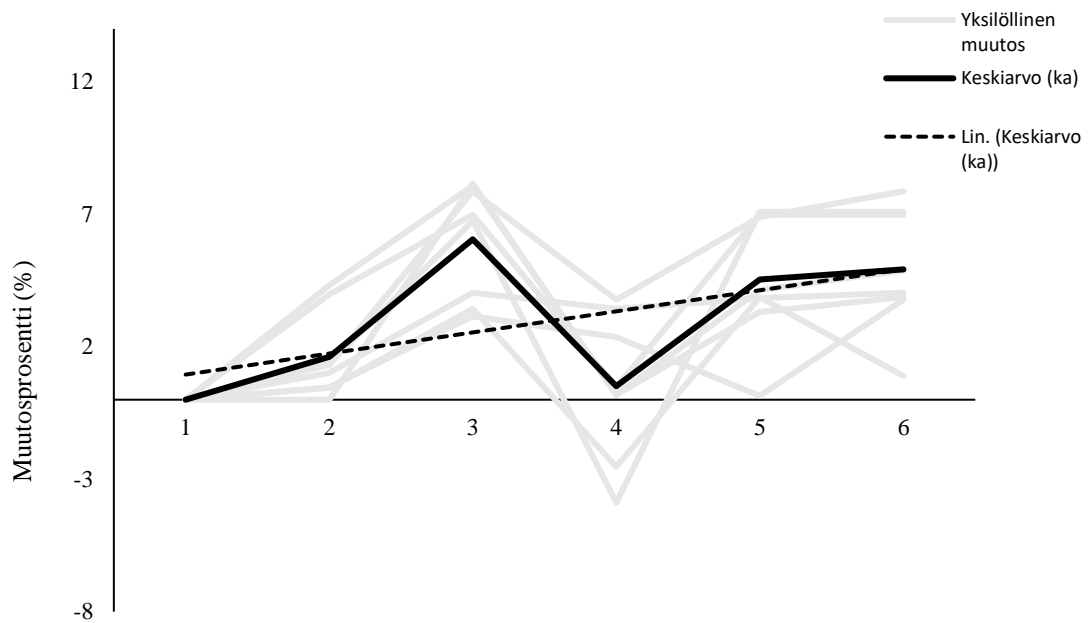
6.7 Maksiminopeuden seuranta kahden kauden aikana

Alla näkyvässä kuvassa 16 on esitettyä 7 hiihtäjän maksiminopeuden muutos suorassa maksimaalisen hapenottoyvyn testissä jokaisella kuudella testikerralla ensimmäiseen testiin verrattuna. Yhteensä kaksi naista ja viisi miestä suorittivat testin loppuun asti jokaisella testikerralla.



KUVA 16. Hiihtäjien (n = 7) maksiminopeuden muutos suorassa mattotestissä ensimmäiseen (1) testiin verrattuna. Testikerrat ovat kesäkuu 2015 (1), elokuu 2015 (2), syyskuu 2015 (3), kesäkuu 2016 (4), elokuu 2016 (5) ja syyskuu 2016 (6).

Kuvassa 17 näkyy kahdeksan hiihtäjän MAST-testin maksiminopeuden muutos jokaisella testikerralla ensimmäiseen testiin verrattuna. MAST-testin jokaisella kerralla tekivät kolme naista ja viisi miestä.



KUVA 17. Hiihtäjien (n = 8) maksiminopeuden muutos MAST -testissä ensimmäiseen (1) testiin verrattuna. Testikerrat ovat kesäkuu 2015 (1), elokuu 2015 (2), syyskuu 2015 (3), kesäkuu 2016 (4), elokuu 2016 (5) ja syyskuu 2016 (6).

7 POHDINTA

Tämän tutkimuksen päätulos osoittaa, että suoran testin maksiminopeus oli negatiivisesti yhteydessä FIS -distanssipisteisiin naisilla toisella kaudella ja miehillä molemmilla kausilla. Lisäksi miehillä distanssipisteet korreloivat negatiivisesti suoran testin aerobisen ja anaerobisen kynnyksen (vain toinen kausi) nopeuksiin. Naisilla suoran testin maksiminopeuden kehittyminen kausien välillä näkyi myös distanssipisteiden parantumisenä. Miehillä taas kehitys MAST:n vauhdissa oli positiivisesti yhteydessä jälkimmäisen kauden maksiminopeuteen suorassa testissä. Maksiminopeus oli molemmilla kausilla keskimääräisesti heikointa kesäkuun testeissä, josta se parani kesän harjoittelun aikana elokuun testeihin ja ensimmäisenä kautena edelleen lokakuulle. Myös suoran testin taloudellisuus oli positiivisesti yhteydessä distanssipisteisiin sekä naisilla että miehillä molemmilla kausilla. Lisäksi miehillä ylävartalon lihaksiston voiman kehittyminen johti parempaan suoritukseen normaalimatkoilla. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella suoran VO_{2max} testin maksimi- ja kynnysnopeuksia ja taloudellisuutta sekä miehillä ylävartalon voimaa voidaan pitää normaalimatkoilla suorituskyykyä ennustavana ja määrittävänä tekijänä harjoituskaudella suoritetuissa testeissä.

Sen sijaan FIS -sprinttipisteiden ja testitulosten väliltä ei löytynyt yhtä selkeitä yhteyksiä. Naisilla FIS -sprinttipisteet olivat toisella kaudella negatiivisesti yhteydessä suoran testin maksiminopeuteen, anaerobisen kynnyksen nopeuteen ja VO_{2max} :n. Heillä sprinttipisteet paranivat kausien välillä yhdessä anaerobisen kynnysnopeuden kanssa. Tulokset osoittavat normaalimatkoilla pärjänneiden naishihtäjien olleen vahvoilla myös sprinttimatkoilla. Miehillä ensimmäisellä kaudella sprinttipisteet olivat parhaita niillä, joiden maksiminopeus ja taloudellisuus suorassa testissä oli heikointa. Miehillä sprinttipisteet paranivat jalkojen räjähtävän voimantuottokyvyn ja suoran testin taloudellisuuden kehittymisen myötä. Oletetusta poiketen anaerobisten testien tulokset eivät olleet yhteydessä sprinttipisteisiin. Anaerobista kapasiteettia mittaavan MAST -testin maksiminopeuteen vaikuttivat naisilla kevennyshypyn nousukorkeus ja molemmilla sukupuolilla penkkipunnerruksen teho sekä ”Olli”n maksiminopeus.

7.1 Kausien 2015 - 2016 ja 2016 - 2017 väliset muutokset

Kausien välisiä muutoksia tarkasteltiin vertailemalla elokuun 2015 ja 2016 testejä toisiinsa. Naisilla ja miehillä tilastollisesti merkitsevä ero kausien välillä oli VO_{2max} :n absoluuttisessa ja suhteellisessa arvossa ja naisten osalta myös maksimiventilaatiossa, jotka olivat kaikki

jälkimmäisellä kaudella matalampia. Suoran testin maksiminopeudessa ei kuitenkaan havaittu muutoksia, jolloin voidaan epäillä hengityskaasuanalysoinnista johtuvaa mittausvirhettä jälkimmäisen kauden testeissä.

Tässä tutkimuksessa naisten VO_{2max} (ml/kg/min) oli $63,5 \pm 2,8$ ja miesten $71,7 \pm 3,1$. Sen sijaan viimeaikaisessa Tønnessen ym. (2015) tutkimuksessa naisiihtäjien VO_{2max} oli keskimäärin 73 ml/kg/min ja miesiihtäjien 84 ml/kg/min, he kuitenkin suorittivat testin juosten, joten suoraa vertailua tämän tutkimuksen tuloksiin ei voida tehdä. Tutkimusten mukaan lajinomaisuutensa vuoksi rullahiihtäen suoritettavat testit kertovat kuitenkin hiihtosuorituskyvystä juosten tehtyjä testejä paremmin (Mahood ym. 2001, Vergès ym. 2006 ja Wisløff & Helgerud 1998), joten maastohiihtäjille niiden käyttö on suositeltavampaa. Tämän tutkimuksen hiihtäjien todellisen maksimihapenottokyvyn voidaan arvioida olevan kappaleen alussa mainittuja tuloksia korkeampi, koska Ruskon (2003, 25 - 28) mukaan VO_{2max} on luisteluhiihdossa matalampi kuin vuorohiihdossa. Myös aikainen mittausajankohta saattoi vaikuttaa tuloksiin, koska kilpailukauden alkuun oli elokuun testeistä vielä noin 2 - 3 kuukautta aikaa ja VO_{2max} kuitenkin vaihtelee huippuhiihtäjillä yleensä noin 3 - 10 % kauden aikana (Ruskon 2003, 22 - 23).

Sekä naisilla että miehillä anaerobisen ja aerobisen kynnyksen nopeus laski kausien välillä 0,1 - 0,4 km/h, eikä ero ollut tilastollisesti merkitsevää. Myöskään taloudellisuutta kuvaavissa muuttujissa ei tapahtunut merkittäviä muutoksia. Naisilla MAST -testin maksiminopeus oli jälkimmäisellä kaudella tilastollisesti merkitsevästi suurempi, samoin kuin MAST -testin veren maksimilaktaattipitoisuus, joka oli hyvin merkitsevästi edelliskautta korkeampi. Parhaat hiihtäjät pystyvät Stöggl ym. (2007) mukaan tuottamaan enemmän laktaattia lyhyessä anaerobisessa suorituksessa paremman anaerobisen kapasiteettinsa avulla ja sen pohjalta voidaan olettaa tämän tutkimuksen naisiihtäjien anaerobisen kapasiteetin kehittyneen.

Miehillä penkkipunnerruksen maksimitulos oli jälkimmäisellä kaudella keskimäärin 2,8 kg edelliskautta korkeampi ja ero oli tilastollisesti hyvin merkitsevä. Myös kyykky- ja penkkitehot olivat keskimäärin kohonneet molemmilla sukupuolilla, kuten taulukosta 7 voidaan havaita. Näiden tulosten perusteella hiihtäjien anaerobiset - ja voimaominaisuudet olivat hieman kehittyneet kahden kauden välillä. Sandbakk & Holmberg (2014) mukaan anaerobisen kapasiteetin ja voimaominaisuuksien vaatimus kilpailuissa on viime vuosina lisääntynyt, joten tämän tutkimuksen tulokset osoittavat hiihtäjien kehittäneen oikeita ominaisuuksia.

Kausien välisessä vertailussa käytettiin elokuun testien tuloksia, jolloin myös testejä edeltävä harjoittelu ja valmistautuminen ovat voineet vaikuttaa tuloksiin. Samansuuntaisia tuloksia olisi

kuitenkin saatu vertailemalla kausien parhaita testituloksia keskenään, joten nämä tulokset kuvaavat suhteellisen hyvin fyysisten ominaisuuksien muutoksia kahden kauden ajalta. Urheilijat ovat kuitenkin maailman huipputasolla, jolloin kehittyminen kaudesta toiseen on enää vähäistä ja pienikin parannus voi vaikuttaa suorituskykyyn (Losnegard ym. 2013).

7.2 FIS -pisteiden yhteys testituloksiin

Naiset kausi 2015 - 2016 FIS -distanssipisteet. Naisilla FIS -distanssipisteet olivat ensimmäisellä kaudella positiivisesti yhteydessä ventilaatioon vauhdeilla 12,5 km/h ja 14 km/h, eli parempi taloudellisuus oli yhteydessä parempiin distanssipisteisiin. Myös penkkipunnerruksen teho korreloi positiivisesti distanssipisteiden kanssa, mikä puolestaan tarkoittaa penkkipunnerruksen korkean tehon tienneen heikompia distanssipisteitä. Østerås ym. (2016) tutkimuksessa sen sijaan ylävartalon voima oli yhteydessä naishiittäjien FIS -pisteisiin ja siten ennusti kilpailumenestystä. Tässä tutkimuksessa naisten määrä (n = 6) oli suhteellisen pieni, mikä osaltaan on voinut vaikuttaa tuloksiin.

Naiset kausi 2016 - 2017 FIS -distanssipisteet. Toisella kaudella distanssipisteet olivat negatiivisesti yhteydessä suoran testin maksiminopeuteen. Suurempi nopeus tiesi siis parempia distanssipisteitä. Tässä tutkimuksessa VO_{2max} ei ollut yhteydessä distanssipisteisiin, vaikka Mahood ym. (2001), Carlsson ym. (2016) ja Losnegard ym. (2013) havaitsivat tutkimuksissaan näin tapahtuvan. Distanssipisteet olivat positiivisesti yhteydessä veren laktaattipitoisuuteen vauhdeilla 12,5 km/h ja 14 km/h, joten taloudellisimmilla hiihtäjillä oli jälleen parhaimmat distanssipisteet. Normaalimatkojen hiihtäjille taloudellisuus on Mahood ym. (2001) mukaan merkittävä tekijä suorituksen kannalta ja se näkyi myös tämän tutkimuksen tuloksissa.

Myös ”Olli”-n testin jälkeisiin veren laktaattipitoisuuksiin distanssipisteillä oli positiivinen yhteys. Tulos on samankaltainen ensimmäisen kauden penkkipunnerruksen tehon kanssa, jolloin hiihtäjät jotka saavat itsestään enemmän irti ja siten veren laktaattipitoisuuden nousemaan korkeammalle, suuntautuvat luultavimmin sprinttimatkoille distanssimatkojen sijaan. Mikkola ym. (2010) tutkimuksessa parhaimmilla sprinttihiihtäjillä veren laktaattipitoisuus nousi hitaampia hiihtäjiä korkeammalle lyhyessä anaerobisessa suorituksessa.

Naiset FIS -sprinttipisteet. Naisilla FIS -sprinttipisteiden ja testitulosten välillä oli yhteys vain toisella kaudella, jolloin negatiivinen korrelaatio löytyi VO_{2max} :n, suoran testin maksiminopeuteen ja anaerobisen kynnyksen nopeuteen. Parhailta sprinttimatkojen naishiittäjillä oli suurin vauhti suorassa testissä ja anaerobisella kynnyksellä sekä suurin VO_{2max} . Myös Carlsson ym. (2016) tutkimuksessa FIS -sprinttipisteet olivat negatiivisesti

yhteydessä kansainvälisen tason naishiihtäjien VO_{2max} :n ja suoran testin maksiminopeuteen. Kyky tuottaa suurta nopeutta on tutkijoiden mukaan merkittävässä asemassa sprinttihiihdossa.

FIS -sprinttipisteet olivat negatiivisesti yhteydessä myös vauhtien 12,5 km/h ja 14 km/h veren laktaattipitoisuuksiin distanssipisteiden tavoin, mikä osoittaa taloudellisuuden merkityksen myös sprinttimatkoilla. Huomioitavaa on kuitenkin se, että tässä tutkimuksessa vain yksi naishiihtäjästä oli erikoistunut sprinttiin, jolloin todellista vertailua puhtaasti sprinttiin ja distanssimatkoille suuntautuvien naishiihtäjien ominaisuuksista ei voida tehdä.

Miehet FIS -distanssipisteet. Miehillä sekä ensimmäisellä että toisella kaudella FIS -distanssipisteet korreloivat negatiivisesti suoran testin maksiminopeuteen ja aerobisen kynnyksen nopeuteen sekä toisella kaudella myös anaerobisen kynnyksen nopeuteen. Tulokset ovat samansuuntaisia kuin naisilla toisella kaudella, eli suoran testin maksiminopeus kuvasi hyvin menestystä normaalimatkoilla. Distanssipisteet olivat ensimmäisellä kaudella positiivisesti yhteydessä taloudellisuus muuttujiin vauhteilla 14 km/h (VO_2 , VE, HR), 15,5 km/h (VO_2 , VE, HR) ja 17 km/h (VO_2 , VE, HR, La) sekä toisella kaudella 14 km/h (VO_2 , VE) 15,5 km/h (VO_2 , VE, La) ja 17 km/h (VO_2 , VE, La). Nämä tulokset tukevat oletusta taloudellisuuden merkityksestä normaalimatkoilla, samoin kuin naisten tuloksissa todettiin ja myös aiemmissa tutkimuksissa on havaittu (Mahood ym. 2001).

Molemmilla kausilla FIS -distanssipisteet olivat positiivisesti yhteydessä painoon ja painoindeksiin. Kevyimmät hiihtäjät menestyivät siis parhaiten normaalimatkojen kilpailuissa. Losnegard & Hallén (2014) havaitsivat tutkimuksessaan kansainvälisen tason miessprinttihiihtäjien olleen pidempiä, painavampia ja heillä oli korkeampi painoindeksi normaalimatkoihin erikoistuneisiin hiihtäjiin verrattuna. Samoin Mikkola ym. (2010) tutkimuksessa kehon paino oli positiivisesti yhteydessä sprinttihiihtosuoritukseen. Carlsson ym. (2015) mukaan kevyemmät hiihtäjät pärjäävät usein normaalimatkoilla painavampia hiihtäjiä paremmin ja saman VO_{2max} :n hiihtäjillä 1 % ero kehon painossa tarkoittaa 0,35 % eroa kilpailusuorituksessa kevyemmän hiihtäjän eduksi. Esimerkiksi Lahden 2017 maailmanmestaruuskilpailuissa miesten 15 kilometrin väliaikalähdössä 0,35 % ero voittajaan olisi tarkoittanut noin 7,7 sekuntia ja siten voinut olla ratkaiseva tekijä mitalitaistelun kannalta.

Molemmilla kausilla FIS -distanssipisteet korreloivat positiivisesti MAST:n ja ”Olli”-n maksiminopeuteen sekä 60% kyykkytehoon. Ensimmäisellä kaudella niillä oli positiivinen korrelaatio MAST -testin vauhteihin 7 ja 5 mmol/l tasoilla sekä penkkipunnerruksen tehoon ja toisella kaudella 100% kyykkytehoon, penkkipunnerruksen maksimiin ja tehoon. Edellä

mainitut tulokset osoittavat parhaimman anaerobisen kapasiteetin ja voimaominaisuuksien omaavien mieshiihtäjien olevan luultavimmin sprinttereitä, joiden FIS -distanssipisteet ovat heikompia normaalimatkoille keskittyviin hiihtäjiin verrattuna. Tämän tutkimuksen mieshiihtäjistä (n = 12) kuitenkin puolet olivat sprinttereitä ja puolet normaalimatkoille suuntautuneita, eikä heitä eroteltu tuloksissa toisistaan.

Miehet FIS -sprinttipisteet. Toisella kaudella FIS -sprinttipisteiden ja testitulosten välillä ei miehiltä löytynyt tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita, mutta ensimmäisellä kaudella positiivinen yhteys löytyi suoran testin maksiminopeuteen ja negatiivinen yhteys veren laktaattipitoisuuteen vauhdilla 17 km/h sekä ”Olli”-n testin jälkeisiin veren laktaattipitoisuuksiin. ”Olli”-n testissä parhaimpien sprinttihiihtäjien veren laktaattipitoisuus nousi heikompia korkeammalle, mikä kertoo heidän paremmasta irtiottokyvystään. Suoran testin tulokset puolestaan osoittavat parhaiden sprinttihiihtäjien olleen siinä heikompia maksiminopeuden ja taloudellisuuden suhteen verrattuna normaalimatkojen hiihtäjiin. Stöggl ym. (2007) mukaan myös sprinttihiihtosuorituksen kannalta olisi merkittävää hermolihasarjestelmän kyky tuottaa suurta maksimaalista nopeutta. Tutkijoiden mukaan lyhyt maksimaalisen nopeuden testi on kuitenkin sprinttihiihtäjille paras sprinttisuorituskyvyn arvioinnissa. Lisäksi Mikkola ym. (2010) mukaan sprinttihiihtäjille myös aerobiset ominaisuudet ovat tärkeitä ja erityisesti sprintin viimeisissä erissä väsymyksen lisääntyessä niiden merkitys korostuu. Voidaan siis pohtia, tulisiko sprinttihiihtäjien kehittää edelleen aerobista kapasiteettiaan, jotta jaksaminen sprinttierien edetessä parantuisi.

7.3 Testitulosten väliset yhteydet

Naiset kausi 2015 - 2016. Elokuussa 2015 ”Olli”-n testin maksiminopeus korreloi positiivisesti MAST:n maksiminopeuden ja maksimilaktaatin sekä nopeuden 5 mmol/l tasolla kanssa. Tulokset osoittavat MAST:n ja ”Olli”-n testien kuvaavan naishiihtäjillä samoja ominaisuuksia ja sen perusteella molempien olevan hyviä anaerobisen suorituskyvyn testejä. Lisäksi positiivinen korrelaatio oli 60% (w/kg) kyykkytehon ja reaktiivisuus testin välillä, mikä kertoo jalkojen räjähtävän voimantuottokyvyn näkyvän näissä molemmissa testeissä.

Naiset kausi 2016 - 2017. Elokuun 2016 testeissä 100% kyykkyteho korreloi positiivisesti maksimaalisen hapenottokyvyn absoluuttisen arvon kanssa ja negatiivisesti VO₂:n ja RE:n kanssa vauhdilla 12,5 km/h. Suurempi kyykkyteho oli siten yhteydessä parempaan hapenottokykyyn ja taloudellisuuteen suorassa testissä. Tämän perusteella voidaan olettaa, että jalkojen voimatasojen on maastohiihdossa oltava riittävän korkealla tasolla hyvän

taloudellisuuden saavuttamiseksi. Lisäksi MAST:n maksimivauhti korreloi positiivisesti kevennyshypyn nousukorkeuteen ja penkkipunnerruksen tehoon (w/kg). Parempi jalkojen räjähtävä voimantuotto ja ylävartalon lihasten tehontuotto näkyivät suurempina nopeutena MAST:ssa. Myös aiemmin voima- ja hyppytestit ovat olleet positiivisesti yhteydessä lyhyeen anaerobiseen hiihtosuoritukseen (Carlsson 2015).

Miehet kausi 2015 - 2016. Elokuussa 2015 aerobisen kynnyksen nopeus korreloi positiivisesti painokiloon suhteutetun penkkipunnerruksen maksimin kanssa. Parempi ylävartalon voima tiesi suurempaa nopeutta aerobisella kynnyksellä. MAST:n maksiminopeuden kanssa positiivisesti korreloivat ”Olli”n maksiminopeus, ”Olli”n jälkeiset veren laktaattipitoisuudet sekä penkkipunnerruksen teho. Lisäksi ”Olli”n maksiminopeus korreloi positiivisesti MAST:n nopeuksiin 7 ja 5 mmol/l tasoilla. Tulokset ovat samankaltaisia naisten elokuun 2015 tulosten kanssa ja vahvistavat oletusta ”Olli”n testin ja MAST:n luotettavuudesta kuvata samoja anaerobisia ominaisuuksia ja suorituskykytekijöitä.

Miehet kausi 2016 - 2017. Elokuussa 2016 anaerobisen kynnyksen nopeus korreloi positiivisesti MAST -testin nopeuteen 3 mmol/l laktaattitasolla ja aerobisen kynnyksen nopeus MAST -testin nopeuteen 5 ja 3 mmol/l laktaattitasoilla. Hyvät anaerobiset ominaisuudet ja laktaatinsietokyky näkyivät siten suurempina kynnysnopeuksina. Lisäksi MAST -testin maksimilaktaattipitoisuus korreloi positiivisesti penkkipunnerruksen maksimiin ja tehoon ja MAST-testin nopeus 3 mmol/l laktaattitasolla kehonpainoon suhteutettuun penkkipunnerrukseen. Kuten tässä tutkimuksessa, myös aiemmin Mikkola ym. (2010) havaitsivat ylävartalon voimaominaisuuksien olevan yhteydessä anaerobiseen suorituskykyyn. Näiden lisäksi penkkipunnerruksen teho korreloi positiivisesti 60 % ja 100 % kyykkytehojen kanssa, joten ylä- ja alavartalon voimaominaisuudet kulkivat rinnakkain.

7.4 Testitulosten muutosten korrelaatiot FIS -pisteiden muutoksiin

Naiset. FIS -distanssipisteiden muutos oli negatiivisesti yhteydessä suoran testin maksiminopeuden muutokseen eli maksiminopeuden kehitys näkyi myös parempina distanssipisteinä. Vaikka naisten määrä suorassa testissä oli pieni (n = 5), voidaan sen maksimivauhtia silti pitää hyvänä normaalimatkojen suorituskyvyn mittarina. Lisäksi FIS -sprinttipisteiden muutos oli negatiivisesti yhteydessä anaerobisen kynnyksen nopeuden muutokseen eli sprinttisuoritus parani anaerobisen kynnysnopeuden paranemisen myötä.

Miehet. FIS -distanssipisteiden muutos oli negatiivisesti yhteydessä penkkipunnerruksen maksimin muutokseen, joten ylävartalon parantunut voimantuotto näkyi parantuneina

normaalimatkojen pisteinä. FIS -sprinttipisteiden muutos oli negatiivisesti yhteydessä kevennyshypyn nousukorkeuden ja reaktiivisuustestin muutoksiin eli jalkojen räjähtävän voiman lisääntyessä sprinttisuoritus parani. Positiivinen yhteys sprinttipisteiden muutokseen löytyi veren laktaattipitoisuuden muutoksella vauhdilla 17 km/h, joten taloudellisuuden parantuessa myös sprinttipisteet paranivat. Taloudellisuuden merkitys sprintissä on todistettu aiemminkin, kun Sandbakk ym. (2010) havaitsivat kansainvälisen ja kansallisen tason sprinttihilijättäjiä erottaneen kansainvälisen tason sprinttihilijättäjien parempi taloudellisuus, joka johtui muun muassa tehokkaammasta lajinomaisesta voimantuottokyvystä.

7.5 Testitulosten väliset muutoskorrelaatiot

Naiset. Kevennyshypyn muutos oli positiivisesti yhteydessä suoran testin maksimilaktaatin muutokseen ja anaerobisen kynnyksen nopeuden muutokseen. Tämän perusteella naisilla jalkojen räjähtävän voiman kasvu toi lisää vauhtia anaerobiselle kynnykselle ja paremman laktaatintuottokyvyn.

Miehet. Suoran testin maksimivauhdin muutos oli positiivisesti yhteydessä MAST:n maksiminopeuden muutokseen ja MAST:n nopeuden muutokseen 7, 5 ja 3 mmol/l laktaattitasoilla. Nopeuden kehitys näkyi miehillä molemmissa aerobista ja anaerobista kapasiteettia mittaavassa testissä. Hiihtäjien harjoittelua voikin näiden tulosten perusteella pitää onnistuneena, koska molempia ominaisuuksia pystyttiin kehittämään rinnakkain. Lisäksi suoran testin maksimilaktaatin muutos oli positiivisesti yhteydessä penkkipunnerruksen tehon muutokseen eli ylävartalon tehontuoton kehittyminen näkyi myös laktaatintuottokyvyn tehostumisena. Kevennyshypyn muutos oli negatiivisesti yhteydessä suoran testin vauhdin 14 km/h VO_2 :n ja RE:n muutokseen sekä vauhdin 17 km/h RE:n muutokseen, joten jalkojen räjähtävän voimantuottokyvyn parantuminen näkyi myös parantuneena taloudellisuutena suorassa testissä.

7.6 Kauden 2016 - 2017 testitulosten korrelaatio muutosprosentteihin

Naiset. MAST -testin nopeuden muutos 5 mmol/l tasolla oli negatiivisesti yhteydessä jälkimmäisen kauden suoran testin taloudellisuusmuuttujiin vauhdeilla 12,5 km/h (VE, VO_2 , RE, HR) ja 14 km/h (VE, VO_2 ja RE). Mitä enemmän anaerobisessa testissä nopeus parani, sen taloudellisempi oli suoritus jälkimmäisen kauden suorassa testissä. Anaerobinen kapasiteetti ja taloudellisuus kehittyivät siis rinnakkain. Kehonpainoon suhteutetun penkkipunnerruksen muutos ensimmäisestä kaudesta toiseen kauteen oli positiivisesti yhteydessä toisen kauden aerobisen kynnyksen nopeuteen. Ylävartalon lihasten parantunut voimataso tiesi siten

suurempaa nopeutta aerobisella kynnyksellä. Lisäksi kyykkytehon (60%) muutos oli negatiivisesti yhteydessä VO₂:n vauhdeilla 12,5 km/h ja 14 km/h, joten jalkojen tehontuoton parantuminen vaikutti positiivisesti taloudellisuuteen.

Miehet. Suoran testin maksiminopeus jälkimmäisellä kaudella oli positiivisesti yhteydessä MAST -testin vauhdin muutokseen 5 ja 3 mmol/l laktaattitasoilla. Myös anaerobisen ja aerobisen kynnyksen nopeudet toisella kaudella olivat positiivisesti yhteydessä MAST -testin vauhdin muutokseen 7, 5 ja 3 mmol/l laktaattitasoilla. Edellä mainitut tulokset osoittavat anaerobisen kapasiteetin ja laktaatinsietokyvyn kehittymisen olleen yhteydessä suurempaan suoran testin maksiminopeuteen sekä anaerobisen ja aerobisen kynnyksen nopeuteen jälkimmäisellä kaudella. Mitä enemmän anaerobinen kapasiteetti parani, sen kovempaa vauhtia suorassa testissä hiihrettiin. Lisäksi MAST -testin vauhdin muutokset 5 ja 3 mmol/l laktaattitasoilla korreloivat negatiivisesti jälkimmäisen kauden veren laktaattipitoisuuteen suorassa testissä vauhdeilla 14 km/h, 15,5 km/h ja 17 km/h. Näin ollen MAST -testin nopeuden kehitys näkyi myös parempana taloudellisuutena suorassa testissä.

7.7 Maksiminopeuden seuranta kahden kauden aikana

Suoran testin maksiminopeuden (n = 7) ja MAST:n maksiminopeuden (n = 8) seurannassa olivat mukana vain ne hiihtäjät, jotka suorittivat kyseisen testin jokaisella kuudella testikerralla kahden kauden aikana. Suoran testin maksiminopeuden seurannassa voidaan havaita selvä suuntaus molempien kausien osalta. Kauden heikoin tulos oli aina kesäkuun testeissä harjoituskauden alussa, se parani elokuulle ja ensimmäisenä kautena edelleen lokakuulle. Toisella kaudella elokuun ja lokakuun välillä ei tapahtunut merkittävää parannusta. Voidaan siis päätellä kunnon nousseen aina kesän harjoittelun aikana elokuulle ja sen jälkeen enää vain hieman ennen syksyn kilpailukauden alkua. Lokakuun testituloksissa tosin saattaa näkyä niitä edeltänyt harjoittelu, eikä testejä varten ole välttämättä tehty tarvittavaa kevennystä, jolloin todellinen maksiminopeus saattaisi olla vieläkin korkeampi. Kuvasta 16 myös havaitaan, että maksiminopeus laski ensimmäisen kauden lokakuusta toisen kauden kesäkuun testeihin samalle tasolle edellisen vuoden kesäkuun tulosten kanssa, joten nopeus ei juurikaan kehittynyt kausien välillä. Sen sijaan voidaan päätellä kilpailukauden tuoman väsymyksen ja sen jälkeisen lyhyen lepotauon palauttaneen kunnon edellisen vuoden kesäkuun tasolle. Hiihtäjien taso on kuitenkin sen verran kova, ettei merkittäviä kehitysaskelleita kahden kauden aikana useinkaan voida enää ottaa (Losnegard ym. 2013).

MAST:n maksiminopeuden kehitys kahden kauden aikana noudatti samanlaista linjaa suoran testin maksiminopeuden kanssa. Kesäkuun testeissä mitattiin molempina kausina kauden heikoin tulos, josta kehitystä tapahtui elokuun testeihin. Ensimmäisellä kaudella kesäkuun ja elokuun välinen kehitys oli pienempää verrattuna toiseen kauteen. Sen sijaan elokuun ja lokakuun välinen kehitys oli ensimmäisellä kaudella suurempaa toiseen kauteen verrattuna. Samoin kuin suoran testin maksiminopeus, myös MAST:n maksiminopeus laski syyskuun 2015 testeistä kesäkuun 2016 testeihin takaisin samalle tasolle edellisen vuoden kesäkuun kanssa.

7.8 Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet

Tämän tutkimuksen vahvuuksina voidaan pitää hiihtäjien korkeaa tasoa. Useat hiihtäjät saavuttivat tutkimuksessa mukana olleiden kahden kauden aikana monia palkintokorokesijoja maailman cupin osakilpailuissa niin miehissä kuin naisissakin. Myös seurantajakso oli pitkä ja siihen ehti sisältyä kaiken kaikkiaan kuusi testikertaa. Mieshiihtäjiä oli tutkimuksessa 12 ja naiset mukaan lukien urheilijoita kokonaisuudessaan 18, joka on kattava määrä tutkimuksen kannalta tämän tason urheilijoilla.

Tutkimuksen heikkouksina voidaan pitää naishiihtäjien määrää, koska heitä oli vain kuusi. Myös testeihin osallistuminen oli useimmilla urheilijoilla epäsäännöllistä ja vain kahdeksan hiihtäjää kävi jokaisessa kuudessa testissä kahden kauden aikana. Testejä edeltänyt valmistautuminen ja harjoittelu eivät myöskään aina olleet optimaalisimpia, mikä saattoi vaikuttaa joidenkin hiihtäjien testituloksiin. Toisella kaudella hengityskaasuanalysointori aiheutti mittausvirheitä etenkin suoran testin maksimi-arvoihin, jolloin kausien välistä vertailua maksimihapenoton suhteen ei voitu luotettavasti tehdä.

FIS -pisteissä ei eroteltu perinteisen ja vapaan hiihtotavan kilpailuita. Kuitenkin monilla hiihtäjillä näistä vain toinen hiihtotapa on vahva ja menestyminen siinä parempaa. Suora testi hiihdettiin vapaalla hiihtotavalla ja wassberg -tekniikalla, kun taas MAST -testissä ja ”Olli”n testissä hiihdettiin tasatyönöllä. Siten aerobista kapasiteettia ei testattu perinteisellä tekniikalla tai tasatyönöllä, eikä anaerobista kapasiteettia luisteluhiihdon tekniikoilla. Myös tämä on saattanut vaikuttaa testien ja FIS -pisteiden korrelaatioihin ja myös eri testien välisiin yhteyksiin. Lisäksi testitulosten tueksi olisi ollut hyvä saada mukaan hiihtäjien harjoitustietoja sekä eri verimuuttujien analysointia, jolloin testituloksia olisivat mahdollisesti voineet selittää muun muassa harjoittelussa tapahtuneet muutokset, ylläsitustilat tai sairastelut.

7.9 Johtopäätökset ja käytännön sovellutukset

Tämä tutkimus osoitti harjoituskaudella suoritettuna suoraa VO_{2max} -testin maksiminopeuden kuvaavan ja ennustavan luotettavasti tulevan kauden kilpailumenestystä maastohiihdon normaalimatkoilla niin naisilla kuin miehilläkin. Lisäksi suorassa testissä mitatut taloudellisuusmuuttujat kertovat tämän tutkimuksen perusteella normaalimatkojen suorituskyvystä. Hiihtomaajoukkueen miehistä parhaimmat distanssihiihtäjät pärjäsivät suorassa testissä parhaiten, kun taas parhaimmat sprinttihiihtäjät pärjäsivät anaerobisissa testeissä parhaiten. Voidaankin todeta suoraa testin kuvaavan suorituskyyä normaalimatkoilla ja MAST:n ja ”Olli”n sprinttimatkoilla. Kokonaisuudessaan hiihtäjien aerobinen kapasiteetti ei juurikaan muuttunut kahden kauden aikana, sen sijaan anaerobisessa kapasiteetissa ja voima- ja nopeusominaisuuksissa voidaan havaita tapahtuneen pientä kehitystä. Suoran testin ja MAST:n maksiminopeus oli molemmilla kausilla heikointa kesäkuussa, josta se nousi elokuulle. Tämän jälkeen tapahtui keskimäärin vain pieniä muutoksia ennen syksyn kilpailukauden alkua.

Maastohiihdossa eri ominaisuuksien testaaminen harjoituskaudella antaa tärkeää tietoa harjoittelun onnistumisesta ja ominaisuuksien kehittymisestä. Testit voivat myös paljastaa mahdolliset ylirasitustilat tai piilevät infektiot. Monipuolisuutensa takia testien olisi hyvä kattaa aerobisen ja anaerobisen kapasiteetin sekä voima- ja nopeusominaisuuksien testaamisen. Hiihtäjien tulee kuitenkin tehdä testit hyvin valmistautuneena, jolloin niistä saatua tietoa pystyttäisiin hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti harjoittelussa. Etenkin maksiminopeudet suorassa VO_{2max} -testissä ja MAST -testissä kuvaavat hyvin hiihtosuorituskykyä ja niitä kannattaa käyttää kunnon mittarina maksimihapenottokykyä enemmän, koska mahdolliset hengityskaasuanalysointivirheet saattavat vääristää tuloksia. Urheilijoiden kehittymisen seurannan kannalta olisi hyödyllistä, mikäli he pääsisivät osallistumaan jokaiselle järjestetylle testikerralle harjoituskauden aikana.

8 LÄHTEET

- Andersson, E., Supej, M. & Holmberg, H.-C. 2009. Analysis of a Sprint Qualification Round in Cross-Country Skiing Using a Differential Global Navigation Satellite System. Biomechanics in classical cross-country skiing – past, present and future. In Science in Skiing IV, 630 - 640.
- Bassett, D. R. & Howley, E. T. 2000. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc.*; 32: 70-84.
- Barnes, K. R & Kilding, A. E. Strategies to Improve Running Economy. 2014. *Sports Med*
- Carlsson, M. 2015. Physiological demands of competitive elite cross-country skiing. Umeå University Medical Dissertations, New Series No 1713.
- Carlsson, M., Carlsson, T., Hammarström, D., Malm, C. & Tonkonogi, M. 2014. Time Trials Predict the Competitive Performance Capacity of Junior Cross-Country Skiers. *Int J of Sports Physiol and Perfor* 9, 12 - 18.
- Carlsson, T., Carlsson, M., Hammarström, D., Rønnestad, B. R., Malm, C. B. & Tonkonogi, M. 2015. Optimal VO₂max-to-mass ratio for predicting 15 km performance among elite male cross-country skiers. *Open Access Journal of Sports Medicine* 6 353–360.
- Carlsson, T., Carlsson, M., Wedholm, L., Nilsson, M., Malm, C. & Tonkonogi, M. 2016. Physiological Demands of Competitive Sprint and Distance Performance in Elite Female Cross-Country Skiing. *J Strength Cond Res* 30(8):2138-44.
- Fabre, N., Balestreri, F., Leonardi, A. & Schena, F. 2010. Racing performance and incremental double poling test on treadmill in elite female cross-country skiers. *J Strength Cond Res* 24(2): 401–407.
- Hegge, A, M., Myhre, K., Welde, B., Holmberg, H-C. & Sandbakk, Ø. 2015. Are Gender Differences in Upper-Body Power Generated by Elite Cross-Country Skiers Augmented by Increasing the Intensity of Exercise? *PLoS ONE* 10(5): e0127509
- Holmberg, H-C., Rosdahl, H. & Sevedenhag, J. 2007. Lung function, arterial saturation and oxygen uptake in elite cross country skiers: influence of exercise mode. *Scand J Med Sci Sports* 17: 437–444

- Holmberg, H.-C. 2009. *Science and Skiing IV; The competitive Cross-Country Skier - an impressive human engine*. UK. Meyer & Meyer Sport.
- Holmberg, H.- C. 2015. The elite cross-country skier provides unique insights into human exercise physiology. *Scand J Med Sci Sports*: 25 (4): 100–109.
- Ingjer, F. 1991. Maximal oxygen uptake as a predictor of performance ability in women and men elite cross-country skiers. *Scand J Med Sci Sports* 1: 25–30.
- Jones, A. M. & Carter, H. The Effect of Endurance Training on Parameters on Aerobic Fitness. 2000. *Sports Med* 29, 373 - 386.
- Joyner, M. J. & Coyle, E. F. 2008. Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J Physiol* 586.1, 35–44.
- Keskinen, K.L., Häkkinen, K. & Kallinen, M. 2007. *Kuntotestauksen käsikirja*. Liikuntatieteellinen seura, Helsinki, Suomi.
- Larsson, P., Olofsson, Jakobsson, E., P., Burlin, L. & Henriksson-Larsén. 2002. Physiological predictors of performance in cross-country skiing from treadmill tests in male and female subjects. *Scand J Med Sci Sports* 12, 347-353.
- Losnegard, T. & Hallén, J. 2014. Physiological Differences Between Sprint and Distance-Specialized Cross-Country Skiers. *Int J of Sport Physiol and Perform* 9, 25 -31.
- Losnegard, T., Myklebust, H., Spencer, M. & Hallen, J. 2013. Seasonal variations in VO_{2max} , O_2 -cost, O_2 -deficit and performance in elite cross-country skiers. *J Strength Cond Res* 27(7): 1780–1790.
- Losnegard, T., Myklebust, H. & Hallen, J. 2012. Anaerobic Capacity as a Determinant of Performance in Sprint Skiing. *Med Sci. Sports Exerc* Vol. 44, No. 4, 673–681.
- Lundgren, K. M., Karlsen, T., Sandbakk, Ø., James, P. E. & Tjønnå, A. E. 2015. Sport-Specific Physiological Adaptations in Highly Trained Endurance Athletes. *Med Sci Sports Exerc* 47, 10, 2150–2157.
- Mahood, N. V., Kenefick, R. W., Kertzer, R. & Quinn, T. J. 2001. Physiological determinants of cross-country ski racing performance. *Med Sci Sports Exerc* Vol. 33, No. 8, 1379–1384.
- Mikkola, J., Laaksonen, M., Holmberg, H-C., Vesterinen, V. & Nummela, A. 2010. Determinants of a simulated cross-country skiing sprint competition using V2 skating technique on roller skis. *J Strength Cond Res* 24(4): 920–928.
- Monahan, K. E. 2016. Assessment of Aerobic and Anaerobic Threshold in Five Different Technique Specific Incremental Treadmill Tests in Cross Country Skiing.

Department of Biology of Physical Activity, University of Jyväskylä. Master's Thesis in Exercise Physiology. 73 pp.

Mougios V. Exercise biochemistry. Champaign: Human Kinetics; 2006

Naef, N., Steiner, T., Müller, B. & Wehrli, J.P. 2009. Prediction of Cross-Country Ski Season Performance Based on a Linear Regression Model of Laboratory Roller Ski Capacity and VO₂max test. *Eur J Appl Physiol*, 105, 633 - 941.

Rusko, H. 2003. Cross Country Skiing: Olympic Handbook of Sports Medicine. Chichester, GBR: John Wiley & Sons. Print.

Sandbakk, Ø. & Holmberg, H.-C. 2014. A Reappraisal of Success Factors for Olympic Cross-Country Skiing. *International J of Sports Physiol and Perform* 9,117-121.

Sandbakk, Ø., Holmberg, H-C., Leirdal, S. & Ettema, G. 2011. The physiology of world-class sprint skiers. *Scand J Med Sci Sports* 21: 9–16.

Sandbakk, Ø., Holmberg, H-C., Leirdal, S. & Ettema, G. 2010. Metabolic rate and gross efficiency at high work rates in world class and national level sprint skiers. *Eur J Appl Physiol* 109:473–481.

Sandbakk, Ø., Hegge, A. M., Losnegard, T., Skattebo, Ø., Tønnessen, E. & Holmberg, H.-C. 2016. The Physiological Capacity of the World's Highest Ranked Female Cross-country Skiers. *Med. Sci. Sports Exerc* 48, 6, pp. 1091–1100.

Sillanpää, E., Cheng, S., Häkkinen, K., Finni, T., Walker, S., Pesola, A., Ahtiainen, J., Stenroth, L., Selänne, H. & Sipilä, S. 2014. Body Composition in 18- to 88-Year-Old Adults—Comparison of Multifrequency Bioimpedance and Dual-Energy X-ray Absorptiometry. *Obesity* 22, 101–109

Stöggl, T., Lindinger, S. & Müller, E. 2006. Reliability and validity of test concepts for the cross-country skiing sprint. *Med Sci Sports Exerc* 38(3): 586–591.

Stöggl, T., Lidinger, S. & Müller, E. 2007. Analysis of a simulated sprint competition in classical cross country skiing. *Scand J Med Sci Sports* 17: 362–372.

Stöggl, T., Müller, E., Ainegren, M. & Holmberg, H-C. 2011. General strength and kinetics: fundamental to sprinting faster in cross country skiing? *Scand J Med Sci Sports*: 21: 791–803.

Tønnessen, E., Haugen, T. A., Hem, A., Leirstein, S. & Seiler, S. 2015. Maximal Aerobic Capacity in the Winter-Olympics Endurance Disciplines: Olympic-Medal Benchmarks for the Time Period 1990–2013. *Int J of Sports Physiol and Perform* 10, 835 -839.

- Tønnessen, E., Sylta, Ø., Haugen, T. A., Hem, E., Svendsen, I. S. & Seiler, S. 2014. The Road to Gold: Training and Peaking Characteristics in the Year Prior to a Gold Medal Endurance Performance. PLoS ONE 9(7) e101796-e101796.
- Vergès, S., Flore, P., Laplaud, D., Guinot, M. & Favre-Juvin, A. 2006. Laboratory running test vs. field roller skiing test in cross-country skiers: a longitudinal study. Int J Sports Med 27(4):307-13.
- Østerås, S., Welde, B., Danielsen, J., Van der Tillaar, R., Ettema, G. & Sandbakk, Ø. 2016. The contribution of upper-body strength, body composition and maximal oxygen uptake to predict double poling power and overall performance in female cross-country skiers. J Strength Cond Res
- Wisløff, U. & Helgerud, J. 1998. Methods for evaluating peak oxygen uptake and anaerobic threshold in upper body of cross-country skiers. Sports Exerc., Vol. 30, No. 6, 963 - 970.

Internet-lähteet:

FIS-pisteytyksen dokumentti. 2017. Viitattu 9.6.2017. http://www.fis-ski.com/mm/Document/documentlibrary/Cross-Country/08/57/81/FISpointsrules2016-2017_inclattachments_English.pdf